



**Nuno Filipe Loureiro  
Amaral**

**ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO APLICADA AO  
PROCESSO DE PRENSAGEM CERÂMICA**



**Universidade de Aveiro**  
**Ano de 2013**

Departamento de Economia Gestão e Engenharia  
Industrial

**Nuno Filipe Loureiro  
Amaral**

## **ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE PRENSAGEM CERÂMICA**

Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão e Engenharia Industrial, realizado sob a orientação científica do Dr. Marlene Paula Castro Amorim, Professor Auxiliar do Departamento de Economia Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

## **o júri**

Presidente

Prof. Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira  
Professor Associado C/ Agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Isabel da Silva Lopes  
Professor Auxiliar da Escola de Engenharia Universidade do Minho

Prof. Doutora Marlene Paula Castro Amorim  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Depois de um longo percurso académico chegou o momento de reservar algumas palavras para todos aqueles que me acompanharam. Agradeço em primeiro lugar aos meus pais por todos os ensinamentos de vida e pela educação que me proporcionaram. A eles o meu muito obrigado, fizeram de mim o que sou hoje. Ao meu irmão João Amaral pelo incentivo. A Ana Paiva pela sua dedicação, apoio e amor durante os últimos anos. À minha coordenadora Dr. Marlene Amorim. À empresa Revigres em geral pela oportunidade, em particular ao Eng. Jorge Girão pela confiança depositada, aos Eng. Jorge Simões, Eng. Filipe Cardo, Paulo Neves e a todos os que tornaram possível a realização deste projeto.

## palavras-chave

Engenharia de manutenção    Produção    Prensagem

## resumo

O presente projecto descreve uma abordagem do processo de prensagem de mosaicos cerâmicos numa óptica de engenharia de manutenção, com a finalidade de proceder a redução de custos não só através da melhoria nos processos referentes a manutenção do equipamento como também pela redução do numero de calibres produzidos a cada ordem de fabrico. Inicia-se o trabalho começando por estudar todo o processo de produção de mosaicos cerâmicos, centrando-se posteriormente no processo de prensagem onde se identificam todas as variáveis, problemas e possíveis causas que estão na génese dos mesmos, no sentido de idealizar soluções para os resolver. Assim foram estudados os dois principais problemas detectados Variabilidade dimensional de peças produzidas e problemas com ferramentas utilizadas. Para o estudo dos problemas descritos foram levados a cabo alguns testes que permitiram retirar conclusões acerca do peso que os factores descritos tem tanto no produto final como no bom estado do equipamento. Posteriormente foram equacionados dois conjuntos de soluções. O primeiro visa a redução do numero de calibres, através da implementação de um novo método de trabalho e reintrodução de uma tecnologia já abandonada pela empresa. O segundo visa reformular todo o método de manuseamento/armazenamento.

**keywords**

Maintenance Engineering, Production, Pressing Process

**Abstract**

This project describes an approach to the Pressing Process of ceramic tiles, in an optic of maintenance engineering, in order to achieve cost reduction, not only through improvements in the processes concerning the maintenance of the equipment but also through the reduction of number of gauge produced in each manufacturing order . This work first presents a study of the process of production of ceramic mosaics as a whole, focusing afterwards in the Pressing process where all the variables are identified as well as the problems and possible causes responsible for its genesis, in order to delineate solutions to solve them. Two main problems were studied: the variability of the produced parts and the problems with the used tools. For the study of the described problems, some tests were conducted, that allowed us to take conclusions concerning the weight each factor has, both for the final product and for the good condition of the equipment. Hereafter two sets of solutions were equated. The first aimed for the reduction of the number of gauge, through the implementation of a new method of work and the reintroduction of a technology formerly abandoned by the company. The second one aims to stimulate the entire method of handling and storage.



## Índice

Lista de Figuras .....	9
Lista de Gráficos.....	10
Lista de Tabelas .....	10
Introdução.....	11
1. Revisão Bibliográfica.....	13
1.1 Evolução da manutenção .....	13
1.2 Tipos de manutenção.....	14
1.2.1 Manutenção corretiva não planeada .....	14
1.2.2 Manutenção corretiva planeada .....	15
1.2.3 Manutenção preventiva .....	15
1.2.4 Manutenção preditiva.....	16
1.2.5 Manutenção detetiva.....	16
1.3 Manutenção e qualidade .....	16
1.4 Engenharia de manutenção .....	18
2. Processo de produção de mosaicos cerâmicos .....	21
2.1 A empresa Revigres .....	21
2.2 Descrição do processo produtivo .....	22
2.2.1 Moagem e atomização .....	23
2.2.2 Prensagem .....	24
2.2.3 Secagem.....	24
2.2.4 Esmaltação.....	25
2.2.5 Cozedura .....	25
2.2.6 Escolha e embalagem .....	26
2.3 Descrição do processo de prensagem e ferramentas utilizadas .....	27
2.3.1 O processo prensagem .....	27
2.3.2 Ferramentas utilizadas .....	30
2.3.2.1 Cunhos superiores ou de face .....	30
2.3.2.2 Cunhos inferiores ou tardois isostáticos.....	30
2.3.2.3 Moldes .....	32
3. Apresentação do projeto .....	33
3.1 Enquadramento do projeto.....	33
3.2 Problemas em estudo .....	34



3.2.1 Variabilidade dimensional das peças .....	34
3.2.2 Problemas relacionados com ferramentas utilizadas no processo de prensagem.....	36
3.3 Objetivos do projeto.....	37
3.4 Metodologia .....	37
4. Resultados.....	40
4.1 Problemas relacionados com a variabilidade dimensional das peças .....	40
4.1.1 Pressão de prensagem.....	41
4.1.1.1 Variação da pressão específica entre prensadas consecutivas.....	41
4.1.1.2 Variação de pressão específica de prensagem entre cada alvéolo do molde.....	45
4.1.2 Variação do calibre em função da variação dimensional das ferramentas utilizadas .....	48
4.1.2.1 Medições de ferramentas .....	48
4.1.2.2 Relação entre calibres e dimensões de ferramentas .....	49
4.1.3 Propostas de melhoria.....	54
4.1.3.1 Reintrodução do sistema de compensação de cunhos tardoz .....	54
4.1.3.2 Criação de conjuntos predefinidos de cunhos face que otimizem as pressões nos quatro alvéolos .....	57
4.2 Problemas das ferramentas utilizadas .....	57
4.2.1 Problema de desgaste de cunhos .....	57
4.2.2 Levantamento das avarias .....	59
4.2.3 Problemas de armazenamento e manuseamento .....	60
4.2.4 Propostas de melhoria.....	62
4.2.4.1 Codificação de cunhos .....	63
4.2.4.2 Novo método de armazenamento e manuseamento .....	63
4.2.4.3 Novo método de troca de cunhos nas prensas.....	64
5. Conclusão .....	72
5.1 Análise e discussão dos resultados.....	72
5.1.1 Problemas de variabilidade dimensional .....	72
5.1.2 Problemas com ferramentas utilizadas .....	73
5.2 Projetos futuros .....	75
5.3 Conclusão geral .....	75
Bibliografia .....	76
Anexo 1- Setup da prensa Ph4600 para produção de formato 33x33.....	77

Anexo 2- Desenho técnico de molde formato 33x33.....	78
Anexo 3 - Folha de registo de calibres dos ensaios .....	79
Anexo 4- Especificação de recepção de cunhos e matrizes .....	80
Anexo 5 - Proposta de codificação de cunhos .....	81
Anexo 6 - Proposta de codificação de relevos .....	82
Anexo 7 - Especificações técnicas da estante para cunhos .....	83
Anexo 8 - Esboço da ideia inicial do equipamento troca cunhos .....	84
Anexo 9 - Especificações técnicas de staker a adquirir .....	85
Anexo 10 – Especificações técnicas das alterações a realizar nos cunhos .....	86
Anexo 11 - Especificações técnicas das alterações a realizar no garfo de empilhador .....	87
Anexo 12 - Especificações técnicas das pinças de amarração .....	88
Anexo 13- Especificações do conjunto porta cunhos .....	89
Anexo 14 - Especificações do aço AISI 4340 .....	90
Anexo 15 - Especificações do material Plain Carbon Steel.....	91

## Lista de Figuras

Figura 1 – Melhoria contínua do sistema de gestão da qualidade.....	17
Figura 2 - Manutenção do parque material. ....	19
Figura 3 – Análise de avarias .....	20
Figura 4 – Amostra de produtos comercializados pela Revigres. ....	21
Figura 5 –Operações do processo de produção de mosaicos cerâmicos. ....	23
Figura 6 - Prensa Sacmi PH 7500 .....	24
Figura 7 – Classificação do produto final.....	26
Figura 8 – Esquema de prensa mais sistema de carregamento. ....	27
Figura 9 – Ciclo de prensagem. ....	28
Figura 10 - Cunho face de formato 33x33 de nome Alpedrinha.....	30
Figura 11 - Cunho tardoz isostático de formato 33x33. ....	31
Figura 12 - Cunho isostático tardoz sem borracha (cunho inutilizado).....	31
Figura 13 – Vista superior de molde inferior vista frontal do conjunto molde superior e molde inferior. ....	32
Figura 14 - Diagrama ISHIKAWA .....	33
Figura 15 - Problema na aplicação resultante da variação dimensional. ....	34
Figura 16 – Medidas a tomar num mosaico.....	35
Figura 17 – Esquema dos procedimentos do teste 1. ....	42
Figura 18 – Esquema dos procedimentos do teste 2. ....	46
Figura 19 – Explicação de medidas a tomar nos cunhos. ....	49
Figura 20 - Esquema dos testes 3, 4 e 5.....	50
Figura 21 –Sistema de compensação de cunhos tardoz.....	55
Figura 22 – Dispersão dos calibres antes e depois da introdução do sistema de compensação de cunhos. ....	55
Figura 23 – Vista da parte inferior da saída da prensa atualmente. ....	56
Figura 24 - Vista da parte inferior da prensa sem tela de recolha de resíduos.....	56
Figura 25 - Vista geral do armazém de cunhos e vista pormenorizada do atual método de armazenamento. ....	61
Figura 26 - Protótipo de estante para armazenamento de cunhos .....	63
Figura 27 - Estante projetada para armazenamento dos cunhos de formato 33x33. ..	64
Figura 28 - Principais entraves a construção do equipamento de troca de cunhos.....	65
Figura 29 - Equipamento a adquirir para construção de máquina de troca de cunhos.....	65
Figura 30 - Cunho 45x45 tardoz com alterações necessárias.....	66
Figura 31 – Porta cunhos completo.....	67
Figura 32 - Vista em perspetiva de um plano de corte do conjunto porta cunhos carregado com cunho 45x45 tardoz.....	67
Figura 33 - Características iniciais impostas ao garfo.....	68
Figura 34 - Malha utilizada na análise de tensão deformação do garfo.....	68
Figura 35 - Distribuição da tensão de Von Mises pelo garfo.....	69
Figura 36 - Distribuição do deslocamento sofrido pelo garfo. ....	69
Figura 37 - Característica iniciais impostas a pinça de amarração.....	70
Figura 38 - Distribuição da tensão de Von Mises pela pinça de amarração.....	70
Figura 39 - Distribuição do deslocamento sofrido pela pinça de amarração.....	70

Figura 40 - Virador e mesa retrátil.....	71
--	----

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Número de calibres produzidos por ordem de fabrico para o formato 33x33. ....	40
Gráfico 2 – Variação de pressão específica de prensagem e limites de tolerância. ....	43
Gráfico 3 – Calibre médio de cada prensada. ....	43
Gráfico 4 – Relação pressão/calibre médio de cada prensada. ....	44
Gráfico 5 - Calibre de todas as peças prensadas no teste 1. ....	45
Gráfico 6 –Diferenças na relação pressão calibre para cada alvéolo do molde. ....	47
Gráfico 7 - Calibre em função das cotas i e h do cunho face utilizado em molde de formato 33x33 com placa de monocalibre. ....	51
Gráfico 8 - Média de calibre em função da variação da cota i do cunho face utilizado em molde de formato 30x30 sem placa de monocalibre. ....	52
Gráfico 9 - Calibre em função da variação de cota h do cunho tardoz utilizado.....	53
Gráfico 10 - Peso da peça em função da variação da cota h do cunho tardoz.....	53
Gráfico 11 – Desgaste das várias cotas das ferramentas em função do número de prensadas efetuadas. ....	58
Gráfico 12 – Frequência de ocorrência dos tipos de avarias nos cunhos face.....	59
Gráfico 13 – Frequência de ocorrências dos tipos de avarias nos cunhos tardoz. ....	60

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Variáveis do processo de prensagem.....	29
Tabela 2 – Cálculo de calibre. ....	35
Tabela 3 - Esquema de testes realizados para o problema de variabilidade dimensional das peças. ....	38
Tabela 4 - Esquema de testes realizados para o problema das ferramentas utilizadas. ....	39
Tabela 5 – Resultados da pressão específica de prensagem. ....	42
Tabela 6 – Variações de pressão e variações de calibre das peças. ....	44
Tabela 7 - Resumo teste 1.....	44
Tabela 8 - Diferenças de pressão entre cada alvéolo .....	47
Tabela 9 - Resumo do teste 2. ....	48
Tabela 10 – Medidas dos cunhos utilizados no teste 3.....	50
Tabela 11 - Resumo do teste 3.....	51
Tabela 12 - Resumo do teste 4.....	52
Tabela 13 – Resumo do teste 5.....	54
Tabela 14 – Causas possíveis por problema.....	59
Tabela 15 – Causas possíveis por problema.....	60

## Introdução

Num mundo globalizado e estando a Europa a atravessar um período de forte crise económica, é necessário que as empresas sejam o motor da economia e se tornem competitivas em relação a empresas do setor que não laboram no território europeu. É, pois, de primordial importância que os produtos produzidos primem pela qualidade não esquecendo que é preciso manter os preços a níveis capazes de concorrer com mercados emergentes. Assim, é fundamental que os gestores das empresas se centrem no aproveitamento dos recursos existentes em todos os departamentos.

O departamento de manutenção tem um grande potencial para afetar os custos e o desempenho da empresa. Todavia, apesar de ainda não ter o prestígio que merecia, a manutenção industrial tem vindo a sofrer grandes alterações de paradigma. Desde a revolução industrial até aos dias de hoje, assistimos a alterações no conceito de manutenção industrial, tendo passado de um departamento paralelo com a função de reparar avarias para um departamento fulcral para o bom funcionamento da empresa.

O presente projeto surgiu no âmbito da realização de um estágio, com a duração de 9 meses, realizado na empresa Revigres. Esta empresa é líder de mercado em Portugal na produção de pavimentos e revestimentos cerâmicos. Com um portfólio de produtos muito diversificado, atingiu um enorme prestígio, não só no mercado interno, como também no mercado externo. Os elevados padrões de qualidade presentes nos produtos comercializados pela Revigres fazem com que seja necessário, não só manter os equipamentos em funcionamento, como também garantir que estejam devidamente afinados, produzindo o menor número possível de defeitos.

A cerâmica é um dos materiais artificiais mais antigos produzidos pelo homem. Do grego *Keramos* (terra queimada), é um material de grande resistência que foi utilizado ao longo da história da humanidade. As suas propriedades permitiram o seu uso não só na construção de casas, pavimentos e recipientes, como também em outros setores como sejam a indústria automóvel e indústria aeroespacial.

Atualmente a produção de mosaicos cerâmicos é um processo extremamente mecanizado e automatizado o que se reflete no número de equipamentos presentes na unidade fabril. Ora, quanto maior é a mecanização do processo, maior se torna o esforço a realizar pelo departamento de manutenção, pois, é necessário manter em funcionamento um grande número de máquinas.

É, portanto, neste contexto que se enquadra este projeto, sendo que não se enfoca na manutenção fabril em geral mas sim no processo de prensagem em particular. Assim, este trabalho situa-se no cruzamento entre a área de manutenção e de produção, numa lógica de engenharia de manutenção.

O desenvolvimento do projeto foi motivado pela necessidade de medir ferramentas aquando da existência de problemas graves nas prensas. Com efeito, à data do projeto existiam na fábrica da Revigres dois problemas que se traduziam na produção de mais que um calibre a cada ordem de fabrico e num elevado número de ferramentas com necessidade de reparação, sendo que muitas delas não apresentavam um grande número de horas de trabalho. Concomitantemente, foi observado que não existia um controlo rigoroso das ferramentas utilizadas o que levava a que muitas vezes fossem postas ferramentas em

trabalho que deveriam ter sido sujeitas a reparação e também ferramentas que, ao entrarem em trabalho, deveriam fazer parte de um conjunto medido e identificado para uma certa ordem de produção.

Por consequência, definiu-se como objetivos para o projeto identificar as possíveis causas que explicam que a cada ordem de produção seja produzido mais do que um calibre; ensaiar soluções que permitissem reduzir o número de calibres; identificar possíveis causas que levam a que os cunhos tenham de ser reparados; ensaiar soluções para diminuir o número de cunhos danificados; estudar o ciclo de vida dos cunhos por forma a prever o momento exato em que deve ser feita a sua reparação sem que se tenha verificado uma avaria; estudar possíveis soluções que agilizem o trabalho por parte dos operados tendo sempre em vista a manutenção da qualidade das ferramentas.

Para alcançar os objetivos propostos planearam-se um conjunto de testes com vista a obter informação acerca: da variação de pressão específica exercida pela prensa; da variação de pressão de prensagem em os diferentes alvéolos do molde; da variação do calibre em função das dimensões das ferramentas utilizadas; do ciclo de vida das ferramentas; das avarias das ferramentas. Com este conjunto de testes pretendeu-se determinar o real impacto destes fatores nos produtos acabados por forma a poderem ser equacionadas soluções ajustadas.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro, é feita a revisão bibliográfica, abordando a evolução do conceito de manutenção, os tipos de manutenção, a relação da manutenção com a qualidade e a engenharia de manutenção. No segundo capítulo, é feita uma abordagem ao processo produtivo de mosaicos cerâmicos, começando pela apresentação da empresa Revigres onde foi desenvolvido o projeto, passando depois à descrição do processo produtivo em geral e do processo de prensagem em particular, bem como ferramentas utilizadas. No terceiro capítulo, é feita a apresentação do projeto, definindo-se o enquadramento, os problemas em estudo, os objetivos pretendidos e a metodologia utilizada. No quarto capítulo, é feita a apresentação dos resultados obtidos. Por fim, na conclusão, faz-se a discussão dos resultados, analisando algumas limitações inerentes à metodologia e equacionam-se possíveis projetos futuros.

# 1. Revisão Bibliográfica

Pretende-se neste capítulo fazer revisão da literatura com vista clarificar o sentido em que é utilizado o conceito de manutenção neste trabalho. Assim, depois de traçada uma perspetiva evolutiva a nível concetual, centra-se a análise nos vários tipos de manutenção, fazendo referência à importância da manutenção em termos da qualidade e à engenharia de manutenção.

## 1.1 Evolução da manutenção

Segundo Cabral (2004) por manutenção pode entender-se o conjunto de ações que permitem manter ou restabelecer um bem num estado específico ou com possibilidade de assegurar um serviço determinado. Assim sendo, a manutenção pressupõe a combinação de ações de gestão, ações técnicas e económicas aplicadas aos bens para otimização dos seus ciclos de vida.

Todavia, ao longo da história, o conceito de manutenção foi evoluindo naturalmente em consonância com o próprio desenvolvimento tecnológico da sociedade. O processo de arranjo e mantimento de certas ferramentas remonta a bem antes da revolução industrial. Foi ainda enquanto homens recolectores e caçadores que se tomou consciência que seria necessário fazer reparações e substituições nas ferramentas que eram criadas. Com o passar do tempo, o conceito de manutenção ganhou crescente importância, tornando-se na sociedade atual estratégico para qualquer empresa.

O termo manutenção, para Monchy (1989), tem a sua origem no campo militar, cujo sentido era manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante. É claro que as unidades que interessam agora são as unidades de produção e o combate é, nos dias de hoje, principalmente económico.

Atualmente, e de acordo com Cabral (2004), manutenção define-se como sendo o conjunto das ações destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que elas são intervencionadas em tempo oportuno e com o alcance certo, por forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global otimizado.

Na evolução histórica do conceito de manutenção podem identificar-se 3 gerações (Kardec et al., 2001).

- Primeira geração

A primeira geração engloba o período anterior à Segunda Guerra Mundial, onde a indústria era ainda pouco mecanizada. Os equipamentos eram na sua maioria simples e quase sempre sobredimensionados. Na conjuntura da época não era necessário uma produção massificada e a produtividade não era ainda uma questão preocupante. Deste modo, a nível da manutenção eram somente necessários serviços de limpeza, lubrificação e reparo após quebra. É nesta geração então que surge o conceito de manutenção corretiva.

- Segunda geração

Esta geração compreende o período que vai desde a Segunda Guerra Mundial aos anos 60. Após a Segunda Grande Guerra assiste-se a um grande aumento da procura de todo o tipo de produtos, ao mesmo tempo que o contingente de mão-de-obra industrial diminuiu significativamente. Para dar resposta a esta nova situação, os processos de produção tornaram-se muito mais mecanizados e as instalações industriais muito mais complexificadas.

Assim, os níveis superiores da administração Industrial passaram a preocupar-se não só em corrigir as falhas mas também em evitar que elas acontecessem. Nasce, então, nesta geração o conceito de manutenção preventiva. O pessoal técnico de manutenção passou a despende muito mais tempo no processo de prevenção de avarias. A prevenção e a correção constituíam o quadro geral da manutenção, formando uma estrutura tão importante quanto a produção.

- Terceira geração

A partir da década de 70 acelerou-se o processo de mudança nas indústrias. A paralisação, ao diminuir a produção, aumentar os custos e afetar a qualidade dos produtos, torna-se uma preocupação generalizada. Os efeitos da paralisação na produção foram agravados pela tendência crescente em usar sistemas *just-in-time*, onde os *stocks* eram reduzidos e a produção era feita em contínuo. Neste sistema, pequenas paragens na produção poderiam provocar a paralisação da fábrica.

O aumento da automação industrial significa também que falhas cada vez mais frequentes afetam a capacidade de manter padrões de qualidade estabelecidos.

Com efeito, na terceira geração o conceito de manutenção preditiva e detectiva, que vem reforçar o conceito de manutenção preventiva.

## 1.2 Tipos de manutenção

Existe uma variedade muito grande de denominações para classificar a atuação da manutenção. Porém, as práticas básicas definem os tipos principais de manutenção que são: manutenção corretiva não planeada, manutenção corretiva planeada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detetiva e engenharia de manutenção (Kardex, et al., 2001).

### 1.2.1 Manutenção corretiva não planeada

Manutenção corretiva não planeada consiste na correção da falha de maneira aleatória, ou seja, é a manutenção em que se atua no momento da falha do equipamento, agindo-se de forma impulsiva (Kardex, et al., 2001). Caracteriza-se pela ação sempre após a ocorrência da falha que é aleatória. No uso deste tipo de manutenção tem-se em consideração fatores técnicos e económicos. Do ponto de vista do custo, fazer a manutenção corretiva é mais barata do que prevenir falhas nos equipamentos, a curto prazo. Porém, este tipo de manutenção pode causar grandes prejuízos ao obrigar à interrupção da produção.

É comum a adoção da manutenção corretiva para algumas partes menos críticas dos equipamentos. Todavia, é preciso dispor dos recursos necessários como sejam peças de



reposição, mão-de-obra e ferramentas para agir rapidamente. Isto é, a manutenção corretiva pode ser aplicada para equipamentos que não comprometam o sistema produtivo (qualitativo ou quantitativo) ou a integridade física do funcionário.

### ***1.2.2 Manutenção corretiva planeada***

A manutenção corretiva planeada consiste na correção de um desempenho que é menor do que o esperado ou na correção de uma falha por determinação da gerência. A atuação é tomada em função do acompanhamento da manutenção preditiva ou pela decisão de operar até a quebra da máquina (Karddec et al., 2001).

Na tomada de decisão por uma política de manutenção corretiva planeada podem interferir vários fatores, tais como: negociação de parâmetros de produção, aspectos ligados à segurança dos funcionários, melhores planejamentos dos serviços, garantia de ferramentas e peças sobresselentes, busca de recursos humanos com tecnologia externa.

A manutenção corretiva planeada possibilita o planejamento dos recursos necessários para a operação, uma vez que a falha é esperada. Os custos de planejamento e prevenção dos reparos são maiores que os da manutenção corretiva. Em equipamentos periféricos simples e com falhas bem definidas também se justifica a adoção da política da manutenção corretiva programada.

Mesmo que a manutenção corretiva tenha sido a adotada por ser mais vantajosa, na perspectiva de Xenos (1998), não podemos simplesmente conformar-nos com a ocorrência de falhas como um evento já esperado e, portanto, natural. Com isto o autor quer dizer que toda e qualquer manutenção corretiva, por mais barata que seja, não é viável para a empresa, devendo haver um planejamento para que a falha não reincida.

### ***1.2.3 Manutenção preventiva***

Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou quebra no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (Karddec, et al., 2001), ou seja, o setor de planejamento elabora planos de manutenção baseados nos tempos dos equipamentos definidos pelos fabricantes. Com isto consegue antecipar as falhas que possam vir a ocorrer nos equipamentos.

Deste modo, este tipo de manutenção caracteriza-se pela busca sistemática e obstinada para evitar a ocorrência de falhas, procurando prevenir, mantendo um controle contínuo sobre os equipamentos, efetuando operações julgadas convenientes. A manutenção preventiva, considerada o coração das atividades de manutenção, envolve algumas tarefas sistemáticas, figurando, entre as principais, inspeções, reformas e troca de peças (Xenos, 1998).

Face a isso, é facilmente perceptível que o custo da manutenção preventiva seja elevado, tanto mais que peças e componentes dos equipamentos podem ser substituídos antes de atingirem os seus limites de vida útil.

Assim sendo, para adoção de uma política de manutenção preventiva devem ser ponderadas diversas variáveis, tais como: impossibilidade da adoção de manutenção preditiva, aspectos de segurança pessoal ou da instalação, equipamentos críticos de difícil liberação

operacional, riscos de agressão ao meio ambiente, sistemas complexos ou de operação contínua (Kardec et al., 2001).

#### ***1.2.4 Manutenção preditiva***

Manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma ação sistemática, ou seja, o planeamento tem o objetivo de elaborar planos de manutenção para efetuar inspeções periódicas nos equipamentos. Estas inspeções podem utilizar equipamentos que analisem vibrações, ruídos, temperatura, entre outros (Kardec et al., 2001).

Com efeito, baseando-se no acompanhamento das inspeções, o planeamento pode definir o tempo de troca dos componentes dos equipamentos antes da quebra. Deste modo, este tipo de manutenção caracteriza-se pela previsibilidade da deterioração do equipamento, prevenindo falhas por meio da monitorização dos parâmetros diversos, com o equipamento em funcionamento.

No mesmo sentido aponta Nepomuceno (1989), ao referir que manutenção preditiva é a execução da manutenção no momento adequado, antes que o equipamento quebre. Tem a finalidade de estabelecer quais são os parâmetros que devem ser escolhidos em cada tipo de máquina ou equipamento, em função das informações que as alterações de tais parâmetros sobre o estado mecânico de um determinado componente. Para adoção da política de manutenção preditiva devem levar-se em consideração diversas variáveis, tais como segurança, custos e disponibilidade dos equipamentos. Nesta política, os custos de instrumentação e aparelhos de medições, bem como os da mão-de-obra exigida não são significativos se comparados aos resultados, tanto sob o aspeto técnico quanto o económico.

#### ***1.2.5 Manutenção detetiva***

Manutenção detetiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção com o objetivo de detetar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (Kardec, et al., 2001). A manutenção detetiva passou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90 e caracteriza-se por permitir a deteção e correção das falhas, mantendo o sistema em funcionamento. A sua importância na atualidade é cada vez maior, em virtude da crescente automação das plantas e utilização de microprocessadores.

### **1.3 Manutenção e qualidade**

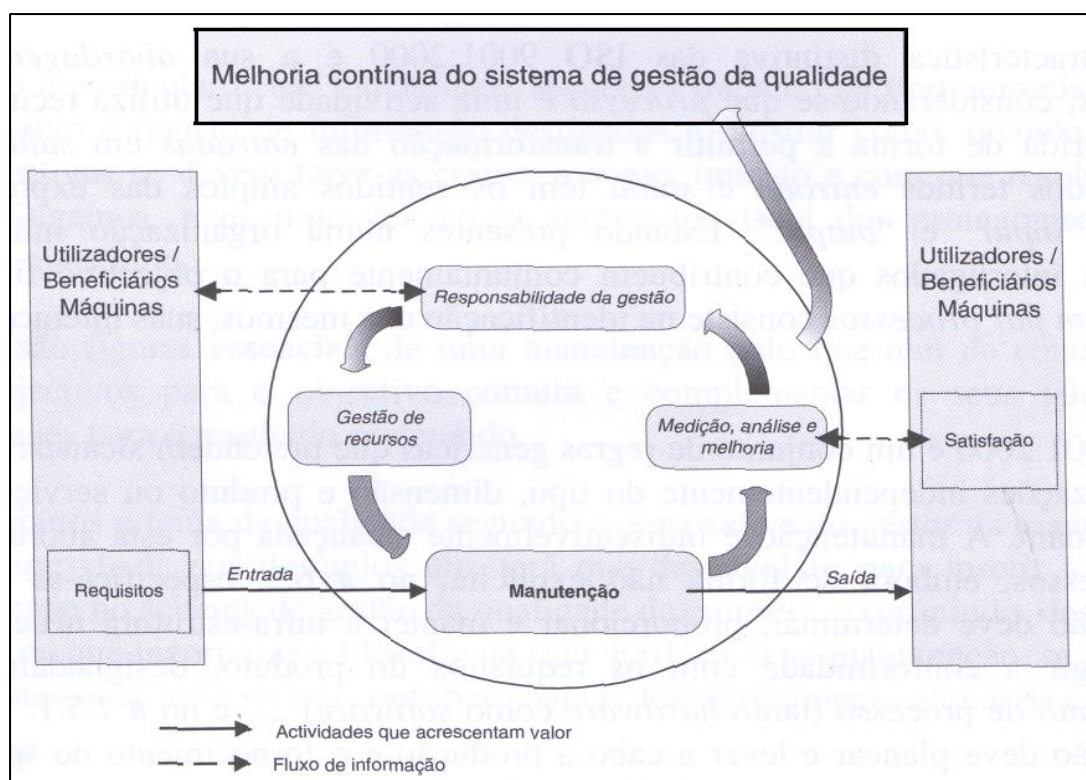
A manutenção é um fator indissociável da qualidade cujo controlo se situa, cada vez mais, a montante do produto final, isto é, ao nível do equipamento que o produz. Cabral (2004) afirma que não há garantia de qualidade sem um bom apoio da manutenção, passando a certificação da qualidade na empresa naturalmente pela auditoria do seu sistema de manutenção.

Segundo Cabral (2004), a Norma ISO 9001:2000, ratificada pelo Conselho Europeu de Normalização em 15 de dezembro de 2000, sucedeu às normas da série ISO 9000 de 1994 e é

hoje o normativo que estabelece os requisitos para os sistemas de gestão da qualidade utilizados pelas empresas. Uma das características distintivas desta norma em relação às anteriores é a sua abordagem por processos, considerando que processo é uma atividade que utiliza recursos e que é gerida de forma a permitir a transformação das entradas em saídas. A abordagem por processos consiste na identificação dos vários processos que de forma interligada e conjuntamente contribuem para um produto final, bem como das interações e gestão.

Ao fazerem uma abordagem por processos, e dado que a manutenção industrial é um processo que está presente em todas as situações de produção que se baseiam em máquinas, as ISO 9001:2000 induzem requisitos objetivos à gestão da manutenção que a enquadram no sistema geral da gestão da qualidade. Assim, nesta perspetiva, a manutenção é um processo cuja entrada são os requisitos dos utilizadores das máquinas e cuja saída são as ações que, a um custo razoável, conduzem a que as máquinas cumpram efetivamente a sua função.

Na figura 1 pode-se observar um esquema da abordagem por processos aplicada à função da manutenção.



**Figura 1 – Melhoria contínua do sistema de gestão da qualidade.**

Fonte: Cabral (2004)

Os requisitos são o desempenho das máquinas ao seu máximo potencial, de acordo com as suas características técnicas e a um custo razoável. O grau de satisfação será avaliado por via de indicadores técnicos e económicos expressivos do cumprimento desses requisitos. A análise destes indicadores poderá conduzir à melhoria da forma de fazer a manutenção, à melhoria das características da própria máquina ou à sua condenação.

## 1.4 Engenharia de manutenção

Pelo exposto nos pontos anteriores, o setor de manutenção industrial está a sofrer uma evolução bastante rápida. Esta evolução implica que os responsáveis pela manutenção sejam os únicos nas empresas capazes de integrar as componentes técnicas (tecnologias dos equipamentos), as componentes dos produtos e as componentes humanas. Acresce referir que o responsável pela manutenção passará a ser cada vez menos um gestor de trabalhos a efetuar e cada vez mais um gestor de ativos, em que os equipamentos são vistos sob uma perspetiva de função no processo produtivo. Face a isto poderá afirmar-se que estamos hoje perante aquilo que se pode dar o nome de engenharia de manutenção.

Para Xavier (2003), engenharia de manutenção é o conjunto de atividades que permite que a confiabilidade seja aumentada e a disponibilidade garantida. Nesta perspetiva, deixa-se de reparar sistematicamente, convivendo com problemas crónicos, para passar a melhorar padrões e sistemáticas, desenvolvendo a manutibilidade, dar *feedback* ao projeto e interferir tecnicamente nas compras. A empresa que só faz a manutenção corretiva continua “a apagar incêndios”, e alcança péssimos resultados. Desta forma, a organização que utilizar a manutenção corretiva, mas incorporando a preventiva e a preditiva, rapidamente estará executando a engenharia de manutenção.

Cabral (2004) define engenharia de manutenção como sendo o conjunto de ações técnicas conducentes à viabilização, melhoria da manutibilidade e consequente aumento da disponibilidade dos equipamentos, após uma análise técnica e económica desses mesmos equipamentos. Esta implica uma maior segurança, menor impacto no ambiente e melhor qualidade dos produtos, a custos otimizados.

Como se pode observar na figura 2, onde se apresenta um esquema sobre a manutenção no parque industrial, seja qual for o tipo de manutenção executada sobre os equipamentos, não se deve deixar de ter como objetivo o seu melhoramento. As melhorias a realizar nos equipamentos devem ter em vista o aumento da disponibilidade destes para a produção.

Sendo a disponibilidade função da fiabilidade e da manutibilidade ter-se-á de analisar os equipamentos nos três vetores.

- Fiabilidade

A fiabilidade de um equipamento é uma característica expressa pela probabilidade de este exercer uma função requerida sob condições específicas e por um período de tempo predeterminado. Se se considerar o funcionamento de um equipamento, ou de um dos seus componentes, durante um dado período de tempo, a taxa de avarias,  $\lambda$ , é dada pela expressão:

$$\lambda = N \text{ avarias} / \text{Tempo total de funcionamento}$$

Então a média dos tempos de bom funcionamento será origem na equação 1:

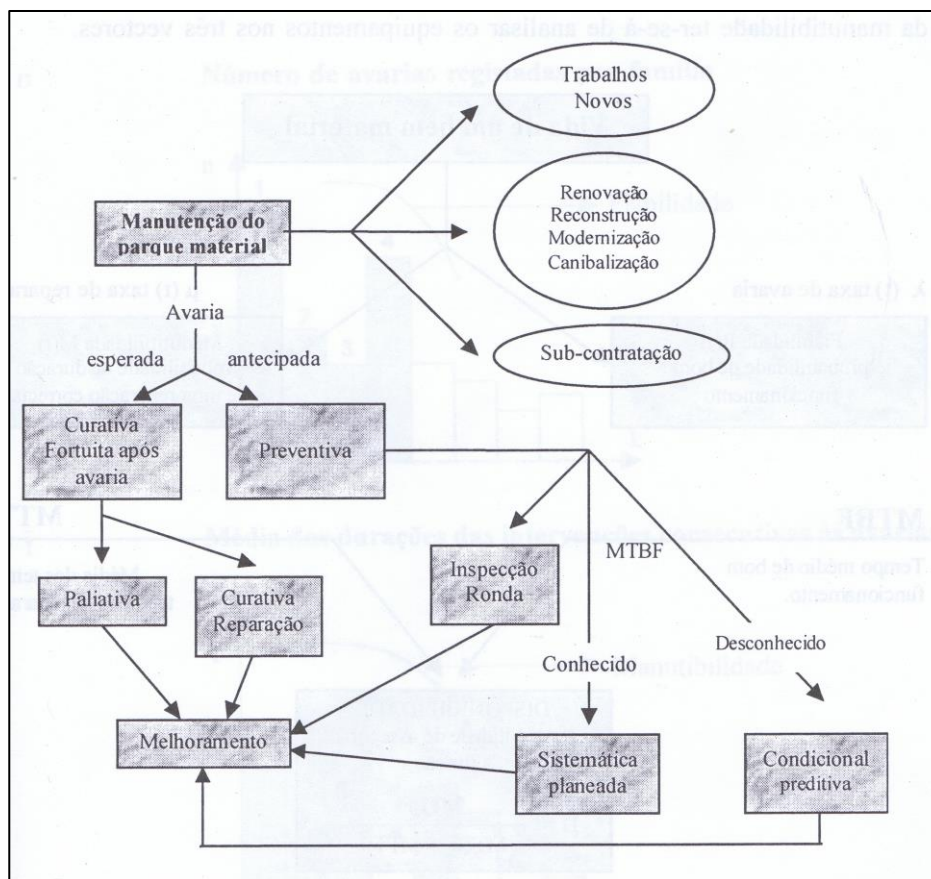
$$MTBF = 1 / \lambda = \sum T_{fi} / N_{av} \quad (1)$$

Onde

$T_{fi}$  = tempo de funcionamento no período

$N_{av}$  = número de avarias no período

O MTBF dá-nos uma medida da fiabilidade do equipamento, isto é, da sua aptidão para funcionar durante um determinado período de tempo em boas condições.



**Figura 2 - Manutenção do parque material.**

Fonte: Cabral (2004)

O conceito de fiabilidade sempre esteve ligado ao conceito de qualidade. A fiabilidade de um equipamento representa a sua capacidade em reter as suas características de qualidade à medida que o tempo progride.

- Manutibilidade

A manutibilidade é definida pela capacidade de um equipamento ser mantido em boas condições operacionais, e no caso de este falhar, tem por objetivo repor o equipamento nas condições operacionais, com um tempo de reparação o mais curto possível.

A média dos tempos de reparação é dada pela equação 2:

$$MTTR = \sum Tri / Nav \quad (2)$$

Com: Tri = tempo de reparação no período

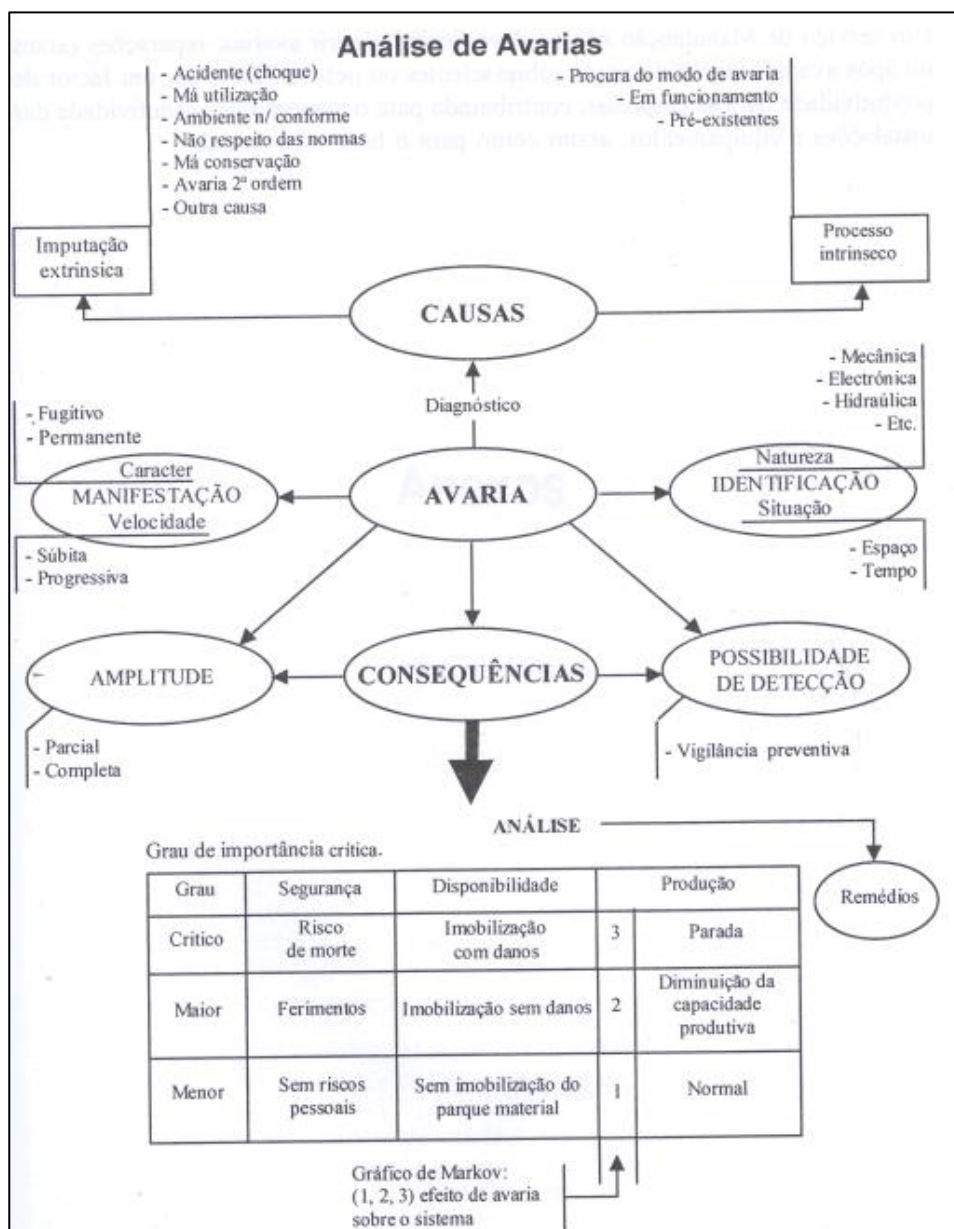
- Disponibilidade

A disponibilidade é a probabilidade de bom funcionamento de um dispositivo no instante t. Assim, um bem disponível é um bem que se pode utilizar. A disponibilidade é dada pela combinação dos níveis de fiabilidade e manutibilidade de um equipamento, e pode ser expressa pela equação 3.

$$D = MTBF / (MTBF + MTTR) \quad (3)$$

Para se realizar uma engenharia de manutenção correta torna-se também necessário realizar uma análise técnica das avarias, atribuindo um grau de criticidade em função da disponibilidade e da segurança. Deste modo, as avarias críticas serão aquelas que provocam problemas graves de segurança e/ou afetam de modo determinante a capacidade produtiva

do equipamento. Na figura 3 está representado um esquema que ajuda a fazer a análise das avarias.



**Figura 3 – Análise de avarias**

Fonte: (Cabral, 2004)

Pode então concluir-se que para realizar engenharia de manutenção se torna necessário melhorar os equipamentos de modo a que estes possam ter a maior disponibilidade. A função da manutenção não se deve restringir à gestão de avarias, reparações, *stocks* de peças sobresselentes ou pessoal. Deve ser um fator de produtividade para as empresas, contribuindo para o aumento da produtividade das instalações e equipamentos, assim como para o bem-estar social.



## 2. Processo de produção de mosaicos cerâmicos

Uma vez que o presente trabalho foi desenvolvido numa empresa concreta de produção de mosaicos cerâmicos e se centra sobre problemas que envolvem o processo de prensagem e ferramentas utilizadas, começa-se por fazer neste capítulo uma apresentação do perfil da empresa, passando depois a uma descrição geral dos processos que compõem cada fase da produção de mosaicos. Por fim, é feito um enfoque no processo de prensagem e ferramentas utilizadas, procurando dar uma visão detalhada deste processo porque só percebendo o funcionamento do equipamento se poderá compreender os problemas inerentes a este processo. A informação que se apresenta resultou de pesquisa bibliográfica e da observação direta na fábrica da Revigres.

### 2.1 A empresa Revigres

No sítio oficial da Revigres encontra-se publicada informação que permite construir uma visão desta empresa. Dessa informação retirou-se a mais relevante para se perceber o enquadramento do trabalho. Apresenta-se a história da empresa bem como algumas imagens de produtos por ela produzidos.

A Revigres é uma empresa de referência no mundo cerâmico, especializada na produção de pavimentos e revestimentos cerâmicos. Sediada na zona industrial de Barro Águeda, foi constituída em 1977 por um grupo de empresários e contou durante os seus primeiros 30 anos com a presidência e impulso do seu fundador: Eng. Adolfo Roque (1934-2008). O Atual conselho de gerência é formado pela Dra. Paula Roque, Comendador Augusto Gonçalves e Eng. Paulo Conceição. Na figura 4 podem-se observar alguns dos produtos comercializados pela empresa.

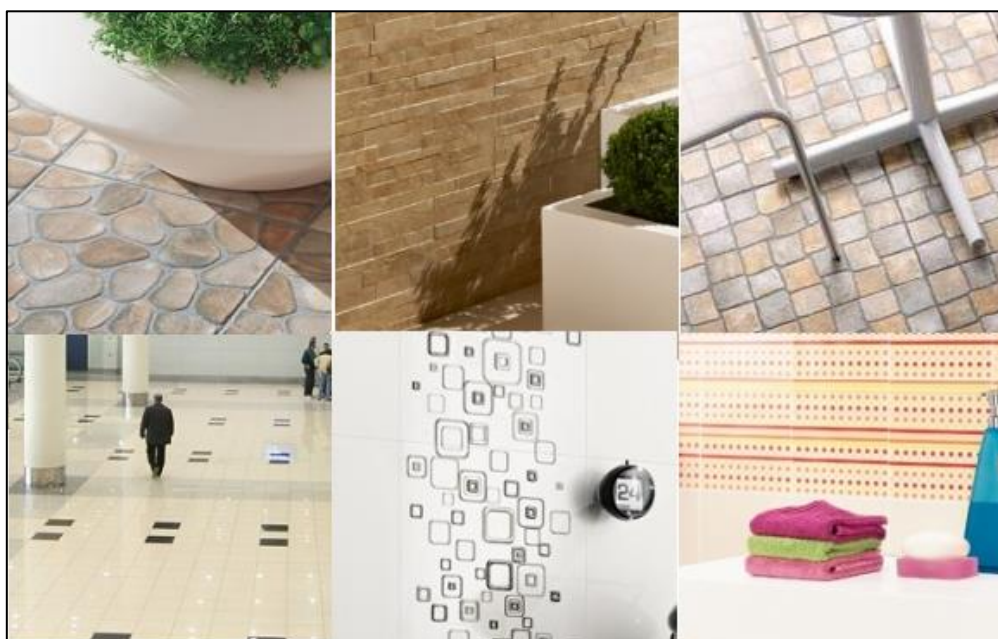


Figura 4 – Amostra de produtos comercializados pela Revigres.

A história da Revigres tem sido marcada por prémios não só nacionais como também internacionais nas áreas de responsabilidade social e inovação. Foi desde cedo que as questões relacionadas com o ambiente e com a qualidade dos seus produtos se tornaram ponto chave para o sucesso da empresa.

Em 1987 torna-se a primeira empresa a patrocinar um clube de futebol da primeira divisão. Com o patrocínio ao Futebol Clube do Porto a Revigres iniciou uma relação das mais duradouras da Europa e talvez do mundo e é também através deste grande patrocínio que consegue atingir um elevado nível de notoriedade internacional.

Com o aumento do seu volume de mercado e necessidade de diferenciação de produtos, em 1989 esta empresa introduz em Portugal a tecnologia de monocozedura de revestimentos cerâmicos. No mesmo ano, instala laboratórios de fotografia e serigrafia para promover a criação e desenvolvimento autónomos de novas decorações. É também instalado um laboratório de investigação e desenvolvimento para o estudo e controlo de matérias primas e composição cerâmicas.

Em 1995 é atribuída à Revigres o Certificado de Qualidade, segundo as normas NP EN ISO 9002, pelo instituto Português da Qualidade (IPQ), tornando-se na primeira empresa do setor de pavimentos e revestimentos cerâmicos com qualidade certificada

No final da década de 90, a empresa dá início a duas novas atividades, uma destinada a produção e comercialização de pó atomizado e outra destinada à produção de pavimentos e revestimentos em grés porcelânico.

Em 2001 é iniciada a produção de porcelanato nas novas unidades fabris, resultante de um investimento de cerca de 40 milhões de euros.

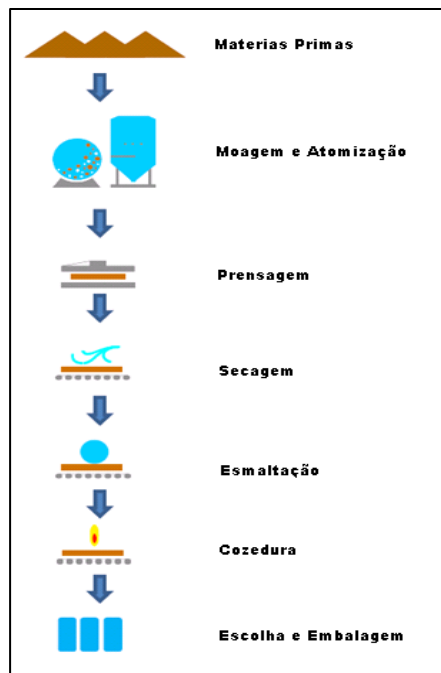
## **2.2 Descrição do processo produtivo**

Os mosaicos cerâmicos são placas de pouca espessura fabricadas com argilas, sílicas, fundentes, corantes e outros materiais. São normalmente utilizados como revestimentos de pavimentos, paredes e fachadas. São moldados por prensagem, extrusão, colagem ou outro procedimento geralmente a temperatura ambiente. De seguida são secos e cozidos a altas temperaturas. Podem ou não ser esmaltados, são incombustíveis e inalteráveis à luz (Standard, 1998).

Segundo Llopis (2010), os mosaicos são fabricados mediante um processo em linha altamente automatizado que compreende as seguintes operações básicas: preparação de pasta, prensagem, secagem, esmaltação, cozedura, classificação e embalagem.

Na figura 5 está representado um esquema geral das operações básicas do processo de produção de mosaicos cerâmicos de baixa absorção de água que se utiliza atualmente pela maioria dos fabricantes. Neste esquema está incluída a preparação de pasta mediante moagem e atomização, prensagem, secagem, decoração com esmaltes, cozedura, classificação e embalagem final.





**Figura 5 –Operações do processo de produção de mosaicos cerâmicos.**  
 Fonte: Adaptado de Llopis (2010)

De seguida é feita uma apresentação mais pormenorizada de cada etapa do processo de fabrico sendo feito um enfoque aos pontos que tem mais importância para o presente projeto.

### **2.2.1 Moagem e atomização**

Sacmi (1989) refere-se aos materiais cerâmicos considerando que são geralmente preparados através da mistura de duas ou mais matérias primas, além de aditivos ou água. O mesmo autor descreve os processos envolvidos na preparação destes materiais. A moagem compreende a homogeneização de todos os componentes que se transformarão na base do revestimento cerâmico. Esta moagem é realizada por via húmida. Neste processo de moagem, vários tipos de argila são encaminhados para moagem com aditivos e água, que irão garantir resistência ao produto acabado. Após o processo de moagem, a pasta, a que se dá o nome de berbotina, é armazenada em tanques com agitadores para garantir que não ocorra a estratificação da mistura. A berbotina está então pronta para ser atomizada e transformada em pó atomizado.

No processo de atomização a massa cerâmica líquida (berbotina), obtida no processo de moagem é exposta a uma elevada temperatura com o objetivo de eliminar a água obtida na fase anterior (que serviu para homogeneizar as matérias primas). Todo esse processo acontece no interior de um grande silo onde, de cima para baixo, é injetado ar quente a elevada temperatura e no sentido contrário, tem-se um *spray* de massa cerâmica. O encontro dessas duas misturas (ar quente com a massa cerâmica) faz com que a água contida na massa evapore, provocando a queda da argila em micropartículas com dimensão diferenciada. Essas partículas são chamadas de pó atomizado. É nessa etapa de atomização que as características de alta ou baixa porosidade da placa cerâmica são definidas. É também no processo de

atomização que se define um dos parâmetros que vai ter especial relevância para o resto do processo de produção, a humidade do pó atomizado.

### **2.2.2 Prensagem**

A conformação das peças é realizada por prensagem uniaxial. Na operação de prensagem dá-se à pasta uma forma geométrica definida e um tamanho fixo e em seguida é compactada para se dar à peça firmeza e dureza necessária para que resista às operações que ainda faltam realizar em cru, antes de serem cozidas (Sacmi, 1986). Na Imagem da figura 6 pode-se observar um dos equipamentos da fábrica Revigres onde é realizado este processo.



**Figura 6 - Prensa Sacmi PH 7500**

Durante a compressão tenta-se eliminar os vazios que existem na mistura para evitar problemas nas fases posteriores, sobretudo na fase de cozedura. O processo de prensagem uniaxial é o método eleito na hora de conformar mosaicos cerâmicos, pois, tem numerosas vantagens em relação a extrusão tais como: maior resistência em cru, alta produtividade do processo, facilidade na fase de secagem e redução da contração na fase de cozedura.

### **2.2.3 Secagem**

Depois da conformação das peças é necessário ainda reduzir o seu conteúdo de água para que a fase de esmaltação decorra sem problemas. No processo de secagem as peças são expostas a correntes de ar quente e seco, para se retirar a água ainda presente na peça por evaporação. Hoje em dia, a secagem das peças faz-se em contínuo, existindo dois tipos de secadores, os secadores verticais e os secadores horizontais (Sacmi, 1986).

Na Revigres adotou-se a tecnologia dos secadores verticais, onde as peças são colocadas em cestos que se movem no secador verticalmente durante cerca de uma hora até concluírem uma volta completa.

#### **2.2.4 Esmaltação**

Nesta fase aplicam-se uma ou várias capas de vidrado para cobrir a superfície da peça. Esta técnica é aplicada para dotar o mosaico de uma série de propriedades, tanto técnicas como estéticas.

A esmaltação de mosaicos cerâmicos realiza-se em contínuo onde as peças se vão movendo por uma linha transportadora onde se vão dispondo os distintos aparelhos que são precisos para levar a cabo todas as aplicações necessárias a cada produto.

Depois da saída do secador as peças passam por um aerossol de água que serve para preparar a peça para o esmaltado. Inicialmente aplica-se uma capa de esmalte base, chamado também de fundo de preparação, que é um esmalte de cor forte, que serve para ocultar a cor original da peça. Depois da aplicação do esmalte base aplica-se o que se conhece no meio como engobe, que não é mais que outro tipo de esmalte que serve para tapar poros, proporcionar homogeneidade e prepara a peça para as decorações.

Para decorar as peças existem dois tipos de processos, todos eles com diferentes características e resultados finais distintos. Máquinas serigráficas, utilizadas para recalcar padrões com relevo, sendo, normalmente, utilizadas várias máquinas e cada uma adiciona uma nova cor ao padrão pretendido. Uma outra tecnologia muito utilizada no processo de decoração são as Rotocolors que consistem numa série de rolos que aplicam camadas de cores em padrões lisos. Esta é uma técnica que requer uma afinação precisa de velocidades. A técnica mais atual, e com melhores provas dadas no que diz respeito à decoração de mosaicos cerâmicos, utiliza as impressoras de jato de tinta, designadas de Kerajet.

#### **2.2.5 Cozedura**

A cozedura é, sem dúvida, uma das etapas mais fulcrais na produção de mosaicos, já que grande parte das características finais do produto dependem de uma cozedura correta (Sacmi, 1986). Durante este processo, a peça sofre uma série de alterações físicas e químicas conforme atravessa as distintas seções do forno, cada uma delas com uma temperatura definida. Cada material tem uma curva de temperatura ótima que confere às peças as características desejadas.

Atualmente os fornos utilizados são do tipo nonoestrato de rolos, onde as peças se movem em cima dos rolos refratários no sentido horizontal. O calor necessário dentro do forno é gerado por queimadores de gás natural. A curva de temperatura é controlada a partir de uma consola computadorizada.

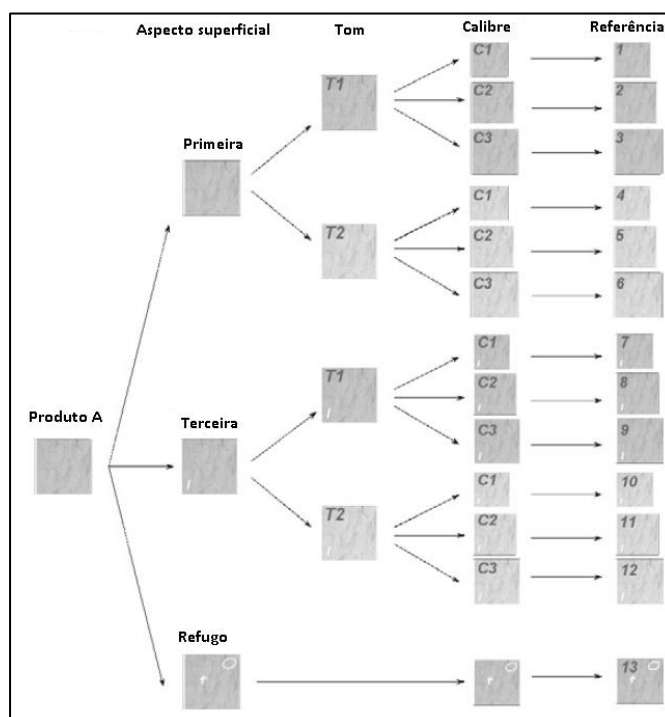
No que diz respeito ao fabrico de porcelanato as peças quando cozidas apresentam um elevado índice de retração, podendo para alguns tipos de pastas chegar a valores de retração na ordem dos 9 pontos percentuais. É depois de ocorrer esta retração que normalmente os problemas já existentes nos mosaicos crus podem ser observados.

### 2.2.6 Escolha e embalagem

O processo de produção de mosaicos cerâmicos não termina quando se acaba a cozedura, ainda é necessário uma série de fases mais até deixar o produto pronto para entregar aos clientes. Na verdade, o processo de produção é comprido e complexo, podendo, por isso, aparecer muitos problemas no decorrer deste percurso. Estes problemas muitas vezes não são detetados antes do término do processo.

Face a isto, todos os mosaicos, um por um, são inspecionados para deteção de possíveis defeitos. As inspeções podem classificar-se em dois tipos: inspeções visuais, para detetar quebras, falta de uniformidade na cor, mosaicos picados, entre outros defeitos; inspeções automáticas que permitem verificar a esquadria entre outros aspetos. Para além da identificação de possíveis defeitos, as inspeções servem também para separar os mosaicos por diferentes tonalidades e tamanhos.

A classificação do produto final realiza-se atendendo a quatro critérios: aspeto superficial, planaridade, tonalidade e tamanho (Poyatos et al., 2010). Se o aspeto superficial ou a planaridade não alcançam os requisitos mínimos exigidos pela empresa, o produto rejeita-se. As peças que superarem este primeiro crivo classificam-se em três classes em função do seu aspeto superficial: primeira, terceira e refugo. Dentro da classe primeira e terceira o produto classifica-se, por sua vez, de acordo com a sua tonalidade (habitualmente duas classes) e pelo seu tamanho (normalmente 3 calibres). Assim, numa determinada ordem de produção é habitual encontrar-se um total de 13 referências diferentes, correspondentes ao seu aspeto superficial, tamanho e tonalidade se pode observar na figura 7 que se apresenta em seguida.



**Figura 7 – Classificação do produto final**

Fonte: adaptado de Poyatos, et al. (2010)

Depois da classificação, o produto terminado é embalado e paletizado segundo os critérios acima descritos.

## 2.3 Descrição do processo de prensagem e ferramentas utilizadas

### 2.3.1 O processo prensagem

Atualmente o processo de prensagem uniaxial é a técnica mais aplicada no processamento de materiais cerâmicos. Consiste na compactação de uma massa aglomerada contida numa cavidade rígida (alvéolo), mediante a aplicação de uma pressão em apenas uma direção axial através de um ou vários punções rígidos (cunhos).

Para o processo de prensagem no caso a Revigres conta com 9 prensas hidráulicas uniaxiais que se dividem em 3 prensas para pastas monoporosa (produção de revestimentos) e 6 para pastas porcelânicas (produção essencialmente de pavimentos).

Para que seja possível realizar a prensagem é necessário primeiro proceder a uma operação crucial neste processo, o carregamento dos alvéolos pelo sistema de alimentação. O sistema de alimentação tem a finalidade de preencher as cavidades do molde com massa (pó atomizado proveniente das operações a montante do processo de prensagem), nivelá-la e extrair a peça compactada do ciclo anterior. O sistema de alimentação é composto por um recipiente metálico retangular, em cujo interior existem barras (normalmente transversais à direção de preenchimento), que funcionam como separadores e são chamados de régua. São dispostos convenientemente com o fim de se obter a distribuição mais homogênea possível da massa nas cavidades do molde. O sistema é alimentado por um distribuidor que recebe a massa granulada previamente armazenada em silos de receção. Na figura 8 pode-se observar o esquema da prensa hidráulica acoplada ao sistema de carregamento.

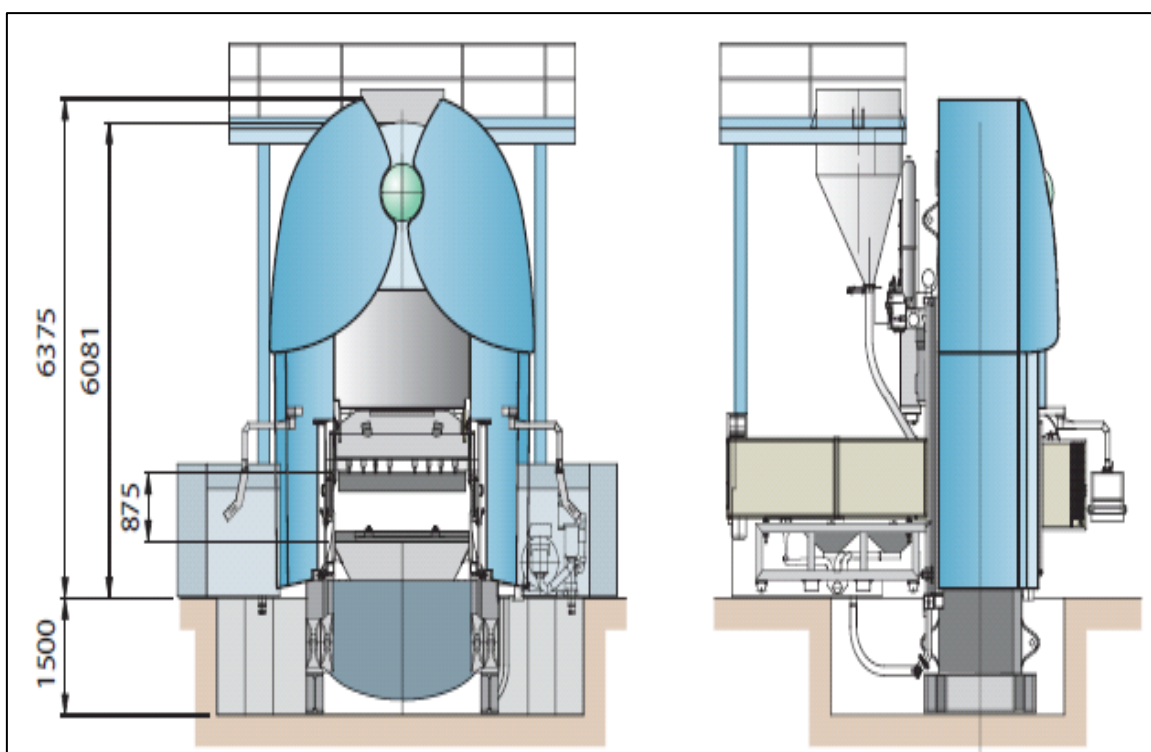
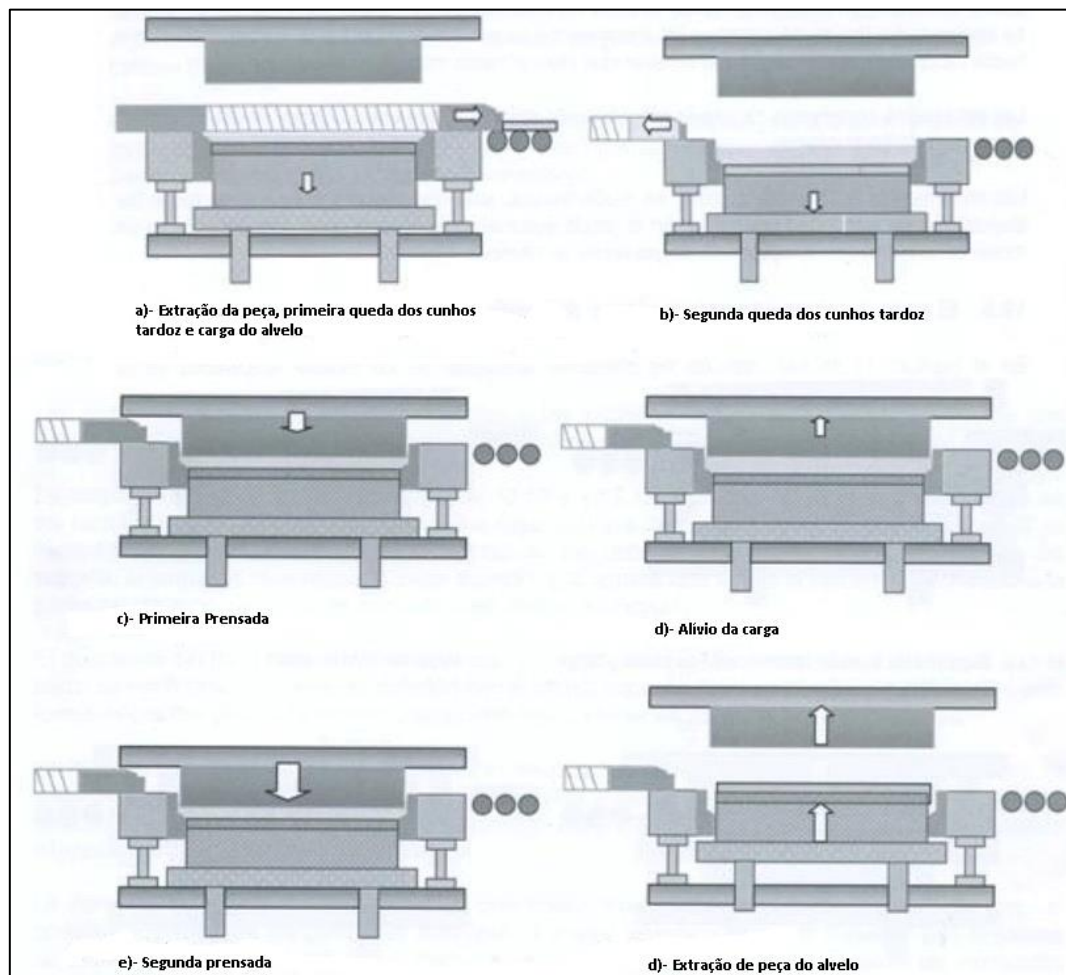


Figura 8 – Esquema de prensa mais sistema de carregamento.

Fonte: Sacmi (2008)

Na prensagem uniaxial a pressão é aplicada através do cunho superior que é introduzido na cavidade formada pela matriz e pelo cunho tardoz, os quais permanecem imóveis nesta etapa. Uma vez compactada a peça, é retirada o cunho superior e o deslizamento do cunho inferior permite a extração da peça do molde. A figura 9 ilustra as diferentes etapas de um ciclo de prensagem uniaxial.



**Figura 9 – Ciclo de prensagem.**  
Fonte: adaptado de Sacmi (1986)

O processo de prensagem, muito embora possa à partida parecer bastante simples, na realidade é um processo bastante complexo, no qual interferem um enorme número de variáveis. E segundo Amorós (1987), para obtermos um controlo de qualidade à saída da prensa temos de nos focar na microestrutura da peça prensada. A microestrutura é definida a partir da sua porosidade e compressibilidade.

A porosidade da peça conformada é definida pela relação entre o volume ocupado pelos seus poros  $V_p$  e pelo volume aparente da peça  $V_a$  (equação 4).

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_a} \quad (4)$$

Os valores da porosidade oscilam entre 0 e 1. Este parâmetro informa-nos sobre o grau de compactação do pó depois da operação de prensagem.

Por sua vez a compressibilidade é definida pela relação entre o volume real ocupado pelo sólido  $V_s$  e o volume aparente  $V_a$  (equação 5)

$$\phi = \frac{V_s}{V_a} \quad (5)$$

Tal como acontece para os valores de porosidade, os valores de compressibilidade variam entre 0 e 1.

Dada a complexidade do controlo industrial da porosidade e compressibilidade, é habitual determinar-se experimentalmente outro parâmetro relacionado diretamente com ambos e de mais fácil medida com é o caso da densidade aparente em seco, que se define como sendo o coeficiente entre o peso da peça  $W_s$  e o volume aparente  $V_a$  (equação 6).

$$\rho_a = \frac{W_s}{V_a} \quad (6)$$

De acordo com o autor supra referido, às peças com maior densidade aparente correspondem menores tamanhos dos poros da peça crua, o que se traduz numa diminuição da contração linear na etapa de cozedura.

Um dos fatores que pode fazer variar a densidade aparente e que representa um ponto fundamental do projeto é a pressão de prensagem. Quanto maior a pressão de prensagem, menor será o volume aparente da peça e por consequência maior será a densidade aparente. Então, segundo o modelo apresentado pelo autor, à medida que se aumenta a pressão de prensagem aumenta-se a densidade aparente.

Um outro fator que merece especial atenção durante a realização do projeto é a geometria das ferramentas utilizadas nas prensas. É de especial importância referir que cada prensa não produz uma peça de cada vez, mas sim várias, o que faz com que a geometria das ferramentas utilizadas tenha também um papel fundamental na alteração da pressão de prensagem em cada alvéolo e consequentemente alteração da densidade aparente das peças conformadas. Será dada especial relevância aos fatores descritos anteriormente não podendo esquecer que existem um número muito grande de fatores que têm influência no produto final. Na tabela 1 podem observar-se as principais variáveis do processo de prensagem e os seus efeitos nas peças produzidas.

Variável	Efeito
Fluidez do pó atomizado	Afeta a operação de carregamento dos Alvéolos
Pressão de prensagem	Modifica a densidade aparente da peça
Humidade	Modifica a densidade aparente da peça
Composição de matérias primas	Modifica a densidade aparente da peça
Tamanho das partículas do pó	Modifica a densidade aparente da peça
Deformação de ferramentas	Gera peças na mesma prensada com diferentes densidades aparentes

**Tabela 1 – Variáveis do processo de prensagem.**

Fonte: Adaptado de (LLopis, 2010)

### **2.3.2 Ferramentas utilizadas**

Hoje em dia na indústria de pavimentos cerâmicos, como em quase todo o tipo de indústria, é necessário ter uma grande flexibilização de produção, uma vez que é imprescindível ter capacidade de resposta às constantes mudanças de padrões de consumo.

Com efeito, para o processo de prensagem é necessário dispor de uma vasta gama de ferramentas diferentes para poder responder à crescente diferenciação de produtos por forma a ter uma vasta gama de produtos no mercado.

A nível do processo de prensagem, para se poder obter um produto diferente é necessário substituir tudo o que diz respeito à cavidade rígida onde são conformadas as peças. A cavidade rígida é composta pela base denominada de cunho tardoz, pelo cunho superior também chamado de cunho face e pelas paredes fixas chamadas de matriz do molde. Durante o projeto serão tratados apenas os cunhos, não sendo feito qualquer tipo de estudo em relação à influência dos moldes nos resultados obtidos.

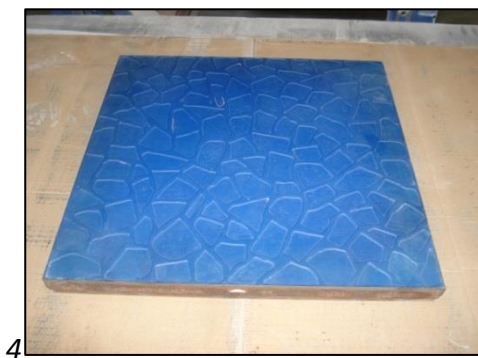
As diferentes combinações destas ferramentas, bem como os diferentes tipos de pó atomizado utilizados, permitem ter uma grande variedade de padrões e formatos.

#### **2.3.2.1 Cunhos superiores ou de face**

Os cunhos face são as ferramentas que trabalham no molde superior e é através deles que é exercida a pressão de prensagem. Este tipo de cunhos é, sem dúvida, a cara da empresa, pois, é através deles que se decalca o padrão de cada mosaico.

Estes cunhos são formados por paralelogramas constituídos por uma base em ferro e uma camada superior de borracha. Cada padrão é desenvolvido internamente sendo depois enviado para um fornecedor que produz uma matriz em alumínio que servirá de molde para a produção ou reparação de cunhos desse mesmo padrão.

Na figura 10 pode observar-se um dos tipos de cunhos de face existentes na Revigres.



**Figura 10 - Cunho face de formato 33x33 de nome Alpedrinha.**

#### **2.3.2.2 Cunhos inferiores ou tardoz isostáticos**

Os cunhos tardoz são as ferramentas que trabalham no molde inferior. São estas ferramentas que suportam a pressão de prensagem. É através delas que é decalcada a parte inferior dos mosaicos (parte não visível depois da aplicação). A tecnologia utilizada nos cunhos tardoz tem vindo a evoluir ao longo do tempo. Passamos de uma tecnologia idêntica à utilizada



nos cunhos face, para os chamados cunhos tardoiz isostáticos. Na figura 11 está representada uma imagem de um cunho tardoiz isostático usado na empresa.



**Figura 11 - Cunho tardoiz isostático de formato 33x33.**

Os cunhos tardoiz isostáticos são constituídos por uma base em ferro maciço e uma capa de borracha com o padrão que se pretende para a base do mosaico. A principal diferença para os cunhos face é que nos cunhos tardoiz existe uma cavidade entre a borracha e o ferro. Esta cavidade é preenchida com óleo o que faz com que a prensagem seja mais uniforme ao longo de todo o mosaico. Se existir algum tipo de defeito de carregamento de pó, ou até mesmo uma diferença de pressão específica de prensagem, o óleo vai migrar dos pontos com maior para os pontos de menor pressão, fazendo com que a compactação seja muito mais uniforme do que quando aplicada a pressão num cunho tardoiz sem este tipo de tecnologia. Na figura12 pode-se ver um cunho tardoiz sem a borracha sendo possível observar a cavidade do óleo.

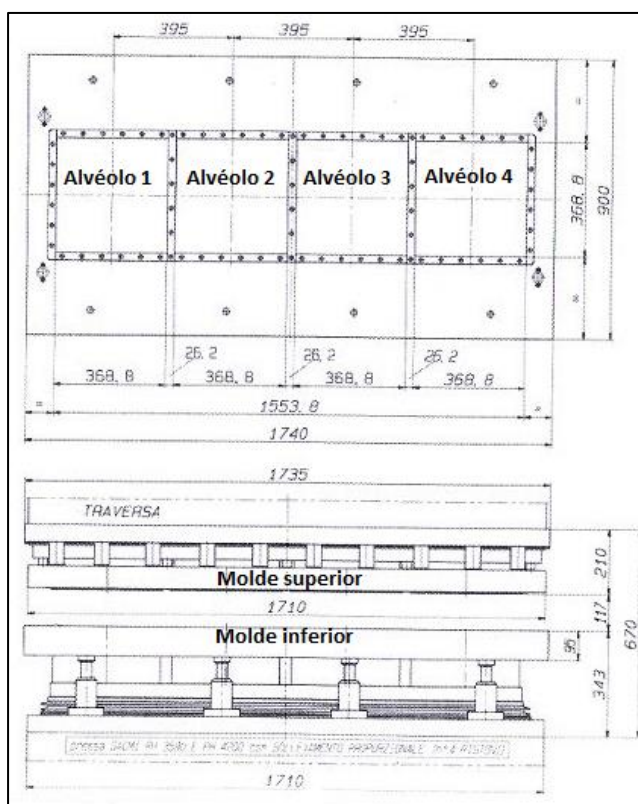


**Figura 12 - Cunho isostático tardoiz sem borracha (cunho inutilizado).**

Na Revigres os cunhos tardoiz estão todos dotados deste tipo de tecnologia, salvo raras exceções em formatos muito específicos.

### 2.3.2.3 Moldes

Quando se pretende produzir num formato diferente é necessário realizar uma alteração de molde, pois é nesta ferramenta que são montados os cunhos, sendo que existe um molde para cada formato. O número de peças a extrair a cada prensada esta diretamente relacionado com o tamanho do molde. Existem moldes que podem produzir ate 6 peças numa só prensada, dependendo do formato. O conjunto molde é formado por duas partes. Molde superior montado na parte superior da prensa e molde inferior apoiado na mesa da prensa. Os cunhos superiores trabalham no molde superior e são fixos por ação magnética. Os cunhos tardoz também fixos aos cepos por ação magnética trabalham no molde inferior. É essencial que o centramento destas duas ferramentas seja perfeito para não se obterem peças deformadas e problemas com o equipamento. Na figura 13 pode observar-se um molde de formato 33x33 no anexo 2 observa-se toda a informação relativa ao desenho técnico desta ferramenta.



**Figura 13 – Vista superior de molde inferior e vista frontal do conjunto molde superior e molde inferior.**

Fonte : adaptado de intranet Revigres

Da observação da figura 13 é de especial importância salientar que o molde é constituído por quatro cavidades a que se dá o nome de alvéolos que são numerados da esquerda para a direita sendo a face frontal do molde a que fica na saída da prensa. Os alvéolos são separados pelas chamadas matrizes do molde.

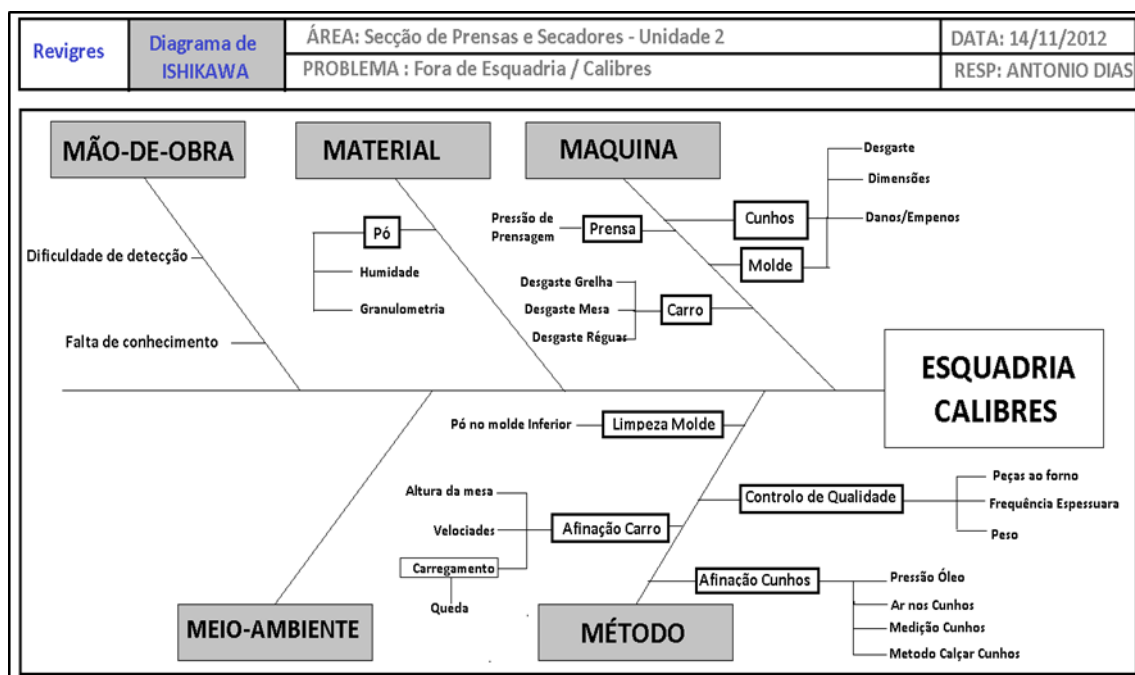
### 3. Apresentação do projeto

Neste capítulo é feita a apresentação do projeto desenvolvido, começando por se enquadrar o trabalho num projeto maior em curso na Revigres. São também apresentados os problemas que estão na base do estudo realizado, assim como os objetivos e a explicação da metodologia, ou seja, as técnicas e procedimentos aplicados quer para recolha de informação quer para construção de soluções.

#### 3.1 Enquadramento do projeto

O presente projeto surge na sequência de uma intervenção realizada na Revigres por parte do instituto kaizen, cujos serviços foram contratualizados pela Revigres afim de levar a cabo melhorias no processo de produção e no controlo de qualidade. No decurso dessa intervenção foram identificados, entre outros, problemas ao nível do processo de prensagem. Foram analisados em particular os problemas relativos ao elevado número de calibres produzidos a cada ordem de fabrico e defeitos ao nível de esquadrias.

Ainda no decurso da referida ação, foi aplicado um diagrama Ishikawa onde foram listadas todas as variáveis com intervenção no processo e que poderiam conduzir à criação dos defeitos em causa. O diagrama que foi construído pode ser observada na figura 14.



**Figura 14 - Diagrama ISHIKAWA**  
 Fonte: Empresa Revigres

Como se pode observar no diagrama as causas dos defeitos estão organizadas em 5 grandes fatores. Ao nível do fator máquina, os defeitos podem resultar da pressão de prensagem da prensa, do desgaste e dimensões de cunos e moldes e do desgaste de grelha e mesa do carro de carregamento. Ao nível do fator material, a causa dos defeitos pode residir

na granulometria e humidade do pó atomizado. Em relação ao fator mão de obra, as principais causas estão relacionadas com a dificuldade de deteção de defeitos e a falta de conhecimento. No que diz respeito ao fator método, as causas dos defeitos podem situar-se ao nível da limpeza do molde, afinação do carro, controlo de qualidade e afinação de cunhos. Particularizando as causas relativas à afinação de cunhos, foram destacadas a pressão de óleo, o método de calçar cunhos, a medição de cunhos e o ar nos cunhos.

Com base neste diagrama foi elaborado pelos serviços kaizen um plano de ação com vista à introdução de melhorias a nível dos referidos defeitos.

Ora, o presente projeto enquadrou-se neste plano ao nível das causas relativas aos cunhos e à prensa, muito embora se tenha focado apenas no problema dos calibres.

Já no decurso do estudo da variabilidade dimensional das peças foram identificados problemas referentes às ferramentas utilizadas que, embora não levassem diretamente ao problema dos calibres, conduziam a um mau método de trabalho e consequentemente ao aumento de custos com a manutenção de equipamento. Assim, considerou-se pertinente inclui-los também no estudo.

## 3.2 Problemas em estudo

No ponto seguinte é feita uma descrição dos dois problemas em estudo.

### 3.2.1 Variabilidade dimensional das peças

A variação dimensional é um dos problemas de qualidade mais importantes na produção de mosaicos cerâmicos. A elevada contração do mosaico durante o processo de cozedura, consequência de sintetização e redução de porosidade, implica uma redução do volume que pode, por vezes, alcançar valores superiores a 7%. Esta retração expõe então todos e quaisquer tipos de defeitos nas densidades aparentes das peças, fazendo com que no mesmo lote de produção se obtenham mosaicos com diferentes dimensões, o que vai gerar graves problemas na hora da aplicação do material por parte do cliente final. Com a fotografia da figura 15 pretende-se ilustrar o referido problema.

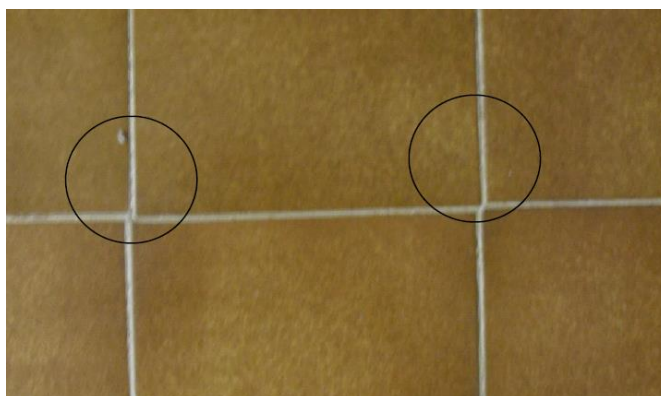
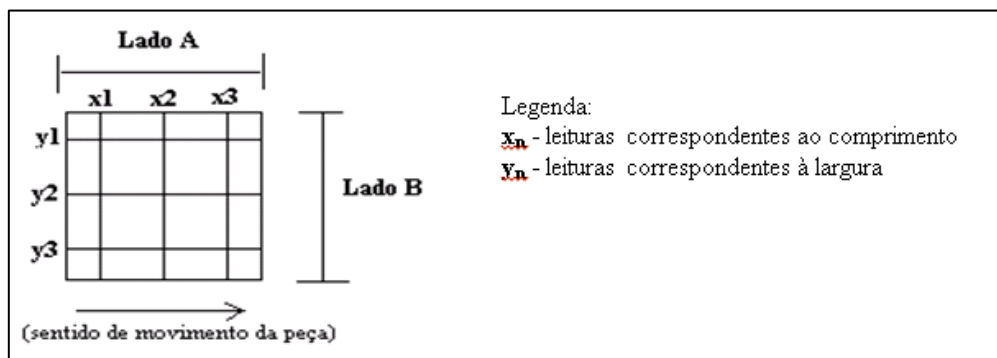


Figura 15 - Problema na aplicação resultante da variação dimensional.

O calibre não pode ser considerado um defeito no sentido estrito da palavra, mas antes como um critério de seleção, classificação e comercialização de mosaicos cerâmicos em

função do seu tamanho real. Porém, é evidente que a produção de peças de diferentes calibres no mesmo lote de produção é um problema importante e acarreta um custo adicional considerável.

Para se perceber melhor como se procede à verificação de cada um dos problemas/defeitos é necessário saber que dimensões terão que possuir os mosaicos para posteriormente calcular o parâmetro pretendido e verificar os desvios em relação aos valores tabelados. Na figura 16 apresenta-se um esquema do mosaico com as respetivas medidas a tomar.



**Figura 16 – Medidas a tomar num mosaico.**

Fonte: programação de calibres e tolerâncias dimensionais, intranet, Revigres

As empresas de produção de mosaicos cerâmicos classificam o produto final em função do seu tamanho para que posteriormente a sua colocação não seja dificultada por falta de estabilidade dimensional. Para realizar esta classificação estabelecem-se uma série de tamanhos denominados de calibres, os quais têm uma margem de variação ou tolerância que dependem dos padrões de qualidade estabelecidos pela empresa (Poyatos et al., 2010).

No caso da Revigres, o método de cálculo para atribuição dos calibres baseia-se na soma das diferenças de tamanho de cada uma das arestas em relação aos calibres seleccionados. O calibre atribuído será aquele para o qual a soma apresente menor valor, como exemplificado na tabela 2.

Exemplo:	Calibres	Seleccionados		Calibre atribuído: 0
	09 (299,0 mm)	0 (300,0 mm)	+1 (301,0 mm)	
X <sub>1</sub> =299,8	0,8	0,2	1,2	
X <sub>3</sub> =300,3	1,3	0,3	0,7	
Y <sub>1</sub> =300,1	1,1	0,1	0,9	
Y <sub>3</sub> =299,9	0,9	0,1	1,1	
	<hr/> 4,1	<hr/> 0,7	<hr/> 3,0	

**Tabela 2 – Cálculo de calibre.**

Fonte: programação de calibres e tolerâncias dimensionais, intranet, Revigres

Como se pode observar na tabela, o mosaico de teste tem as medidas representadas a direita e em cada coluna é calculada a diferença para cada calibre e de seguida somam-se

estas diferenças e a coluna onde a soma dos desvios for menor corresponde ao calibre atribuído a peça.

Um dos problemas mais importantes na produção de mosaicos é a dificuldade de obter lotes de produção com peças do mesmo calibre, o que leva, como já foi referido, à criação de várias referências para uma mesma ordem de fabrico. Isto reflete-se num aumento do custo de armazenamento e num grande volume de material a tratar por parte do departamento de logística.

O aumento do número de referências por produto devido a diferenças de tamanho está intimamente ligado, na maioria dos casos, à inexistência de um controlo adequado da densidade aparente em seco das peças conformadas. A densidade aparente é uma das variáveis mais importantes no que diz respeito à produção de séries todas com o mesmo calibre. Se se conseguir que as peças conformadas tenham todas a mesma densidade aparente garante-se que, para cada ordem de fabrico, se obtenha um único calibre. Isto traria, sem dúvida, muitas vantagens para a empresa.

### ***3.2.2 Problemas relacionados com ferramentas utilizadas no processo de prensagem***

Os cunhos são ferramentas essenciais para o processo de produção de mosaicos, dependendo a qualidade do produto acabado, em grande parte, do bom estado destas ferramentas.

Ora, como já foi referido em pontos anteriores, a geometria destas ferramentas tem grande influência no produto final. Os cunhos no momento da sua chegada à unidade de produção passam por uma inspeção com a finalidade de garantir medidas *standard* e ausência de defeitos. Os cunhos, ao serem uma ferramenta que trabalha com altas pressões e com pó abrasivo, estão sujeitos a um desgaste que faz com que as suas dimensões se alterem em função do número ciclos realizados.

Todavia, não existe, no momento do projeto, um controlo destes desgastes, o que faz com que, muitas vezes, fossem colocadas ferramentas já com elevados desgastes em trabalho, gerando peças defeituosas ou peças na mesma prensada com diferenças consideráveis de densidade aparente. Um outro problema também frequente e relacionado com o desgaste é a quebra de ferramentas durante o processo de prensagem, o que leva à paragem do equipamento e muitas vezes ao desperdício de matéria prima.

Devido ao elevado número de padrões presentes no catálogo de produtos da Revigres, é necessário um elevado número de cunhos para poder responder a esta diferenciação de produto. Nesta empresa, e segundo um inventário realizado no ano de 2011, foram contabilizados cerca de 950 cunhos (face e tardo). Estima-se que estes valores tenham aumentado, depois daquela data, em cerca de uma centena.

Um dos principais problemas detetados prende-se com o facto de não existir um controlo pormenorizado das ferramentas existentes. A data do projeto, não era possível saber o trajeto das ferramentas desde a entrada na fábrica até à sua saída para reparação ou abate. Assim, torna-se impossível apurar as causas que levaram a que a ferramenta fica-se inutilizada.

Também não existe qualquer tipo de estudo realizado que proporcione alguma informação sobre o ciclo de vida normal de uma ferramenta deste género.

### 3.3 Objetivos do projeto

O trabalho desenvolvido vai focar-se nos problemas acima descritos a fim de poder resolvê-los e apresentar uma solução à empresa com mais valias não só a nível do método de trabalho como também a nível da redução de custos.

Os objetivos deste projeto podem dividir-se em dois grandes grupos, tal como os problemas abordados. Um grupo, relacionado com a variabilidade dimensional das peças focando a sua atenção na melhoria do produto final, através do estudo do processo prensagem e implementação de melhorias e normas de trabalho, cujos objetivos são:

- Identificar possíveis causas para que seja produzido mais que um calibre a cada ordem de fabrico;
- Ensaiar soluções que permitam reduzir o número de calibres e consequentemente reduzir os custos associados;

O outro grupo está relacionado com a manutenção de ferramentas utilizadas no processo e tem como objetivos:

- Estudar o ciclo de vida dos cunhos por forma a prever o momento exato em que deve ser realizada a reparação;
- Identificar possíveis causas que levam a que os cunhos tenham que ser reparados;
- Ensaiar soluções para diminuir o número de cunhos danificados;
- Estudar possíveis soluções que agilizem o trabalho por parte dos operadores, mantendo em foco o bom estado das ferramentas utilizadas

### 3.4 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos foi necessário começar por realizar um estudo do processo produtivo com base em pesquisa bibliográfica e na observação direta do processo implementado pela Revigres. Os resultados deste estudo foram apresentados anteriormente no capítulo 2.

Com base nessa pesquisa foram identificadas causas concretas do problema de variabilidade dimensional das peças. Para o estudo do impacto dessas causas foram idealizados testes com objetivos específicos. Na tabela 3 apresenta-se de forma esquemática as causas do problema que foram identificadas, os testes realizados, os objetivos dos mesmos, as propostas de melhoria e o objetivo geral pretendido.

Variabilidade dimensional das peças				
Causa do problema	Teste	Objectivo do teste	Proposta de melhoria	Objectivo Geral
Varição da pressão de prensagem entre prensadas consecutivas	Teste 1	Estudo da variação de calibre em função da variação de pressão de prensagem	1ª Reintrodução de sistema de compensação de cunhos tardoz Teste 6 (viabilidade da solução) 2ª criação de conjuntos de cunhos face e tardoz	Reduzir o número de calibres produzidos a cada ordem de fabrico
Varição de pressão de prensagem entre cada alvéolo	Teste 2	Estudo das diferenças de pressão de prensagem entre cada alvéolo		
Varição da altura dos cunhos face em molde com placa de monocalibre	Teste 3	Estudo da variação do calibre em função da variação da altura do cunho face em moldes com placa de monocalibre		
Varição da altura dos cunhos face em molde sem placa de monocalibre	Teste 4	Estudo da variação do calibre em função da variação da altura do cunho face em moldes sem placa de monocalibre		
Varição da altura dos cunhos tardoz	Teste 5	Estudo da variação do calibre em função da variação da altura do cunho tardoz		

**Tabela 3 - Esquema de testes realizados para o problema de variabilidade dimensional das peças.**

De seguida é feita uma descrição mais pormenorizada de cada teste. No teste 1 foi estudada a variação da pressão específica de prensagem entre prensadas consecutivas. Deste teste pode-se obter informação que irá ajudar a perceber que variação nos calibres é produzida pelo próprio equipamento. Pode-se também retirar deste teste conclusões acerca da variação de calibres da mesma prensada sendo que foi necessária a realização de novo teste para se chegar a valores que dessem alguma confiança.

O teste 2 foi usado para estudar a variação de pressão de prensagem entre cada alvéolo do molde. Este teste permitiu concluir que seria possível encontrar nestas diferenças de pressão uma maneira de utilizar o desgaste verificado nas ferramentas a nosso favor, equalizando as pressões em cada alvéolo e assim produzir um único calibre.

Para levar a cabo a ideia de igualizar pressões nos alvéolos foi necessário estudar a influência das dimensões das ferramentas utilizadas no calibre produzido. Para esse efeito foram realizados os testes 3, 4, e 5 onde se estudou a relação existente para cunhos face e cunhos tardoz.

Após a realização de todos os teste e correspondente análise, começou por estudar-se a reintrodução de uma tecnologia já há muito tempo abandonada por parte da empresa. Para avaliar o impacto das alterações necessárias a fazer no equipamento realizou-se o teste 6, que permitiu visualizar as diferenças na dispersão dos calibres das peças prensadas com e sem a tecnologia em estudo.

Afim de perceber os problemas relacionados com as ferramentas utilizadas, foram realizados alguns testes que foram pensados com o objetivo de obter uma visão acerca do ciclo de vida dos cunhos e acerca das verdadeiras causas de reparação de ferramentas.

Na tabela 4, à semelhança da anterior, apresenta-se de forma esquemática o problema, os testes realizados, objetivos dos mesmos, as propostas de melhoria e os objetivos gerais pretendidos.



Problemas relacionados com ferramentas utilizadas				
Problema	Teste	Objectivo do teste	Proposta de melhoria	Objectivo geral
Desgaste de ferramentas	Teste 7	Estudar a variação das medidas dos cunhos em função do número de prensadas realizadas		Estudo do ciclo de vida das ferramentas utilizadas
Quebra de Ferramentas	Teste 8	Estudo das principais causas de reparação de ferramentas	Codificação de cunhos	Agilizar o método de manuseamento de ferramentas e diminuir o número de ferramentas com necessidade de reparação
			Novo método de armazenamento	
			Novo método de troca de cunhos Simulações 1 e 2 (Viabilidade da solução)	

**Tabela 4 - Esquema de testes realizados para o problema das ferramentas utilizadas.**

Para estudar o ciclo de vida dos cunhos realizou-se o teste 7 que consistiu na colocação de um conjunto de cunhos novos em trabalho e seu acompanhamento até se verificar algum defeito produzido por eles.

Em paralelo, foi realizado o teste 8 que consistiu no fornecimento aos prensadores de folhas de registo com a finalidade de obter uma descrição detalhada acerca de todos os cunhos que foram retirados de trabalho. Este teste permitiu obter informação útil para a identificação dos aspetos que deveriam ser controlados para diminuir o número de cunhos que necessitam de reparações.

Na sequência dos resultados daqueles testes, delinearam-se soluções capazes de resolver alguns dos problemas descritos, tendo o projeto prosseguido com a experimentação ou ensaio das mesmas. Essas soluções foram projetadas com ajuda do software *Solidworks*. Este software além do desenho 3D possibilita também a simulação de movimentos e análise numérica de tensões e deformações em regime elástica dos componentes sujeitos a diversos esforços.

Desta forma, estudou-se em primeiro lugar a possibilidade de alterar o armazém de cunhos com uma nova estante que poderia trazer inúmeras vantagens para a empresa. Estudou-se também a possibilidade de eliminar todo o manuseamento manual aquando a troca de ferramentas nas prensas, através da construção de uma máquina que pudesse realizar tal tarefa. Para a avaliação da fiabilidade do equipamento projetado, realizaram-se algumas simulações em *solidworks*. O processo de simulação começa pela definição dos constrangimentos que a peça contém como, por exemplo, os apoios da estrutura ou outro tipo de restrição ao movimento. O passo seguinte refere-se aos esforços aplicados à peça como, por exemplo, momentos e forças. Em seguida o *software* processa os dados e devolve os resultados da simulação de acordo com as imposições iniciais. Desta simulação podem retirar-se várias conclusões acerca da viabilidade da forma dos componentes. Deste modo, as dimensões e geometria das peças podem ser alteradas de modo a evoluir até à solução ideal para o caso em estudo.

Para facilitar a implementação de algumas das soluções propostas e para agilizar o controlo das ferramentas foi estudada a possibilidade de através de um novo software, recentemente implementado na Revigres, codificar todos os cunhos existentes, fazendo com que seja possível dispor de informação acerca dos mesmos.

## 4. Resultados

Neste capítulo do trabalho são apresentados os resultados obtidos em relação ao estudo dos dois principais problemas identificados. Numa primeira parte serão abordados os problemas relacionados com as dimensões das peças prensadas, tendo como principal objeto de estudo os calibres das peças prensadas, alguns dos fatores que fazem variar estes calibres e por fim a apresentação de soluções para reduzir o número de calibres presentes em cada ordem de fabrico. Numa segunda parte serão abordados os problemas relacionados com as ferramentas utilizadas (cunhos face e tardoz) e serão apresentadas algumas propostas de melhoria no sentido de reduzir o número de reparações efetuadas nas ferramentas e melhorar o método de trabalho.

### 4.1 Problemas relacionados com a variabilidade dimensional das peças

Como anteriormente descrito, existem inúmeros fatores que fazem variar as dimensões das peças prensadas. Um estudo que abrangesse todos esses fatores seria altamente complexo e exigiria muito tempo para ser levado a efeito. Ora estas condições não se coadunam com a natureza e condições específicas do projeto. Por conseguinte, foram considerados apenas alguns desses fatores em função de uma avaliação prévia dos que teriam mais importância e relevância para o estudo que se pretendia levar a cabo. Assim, chegou-se à conclusão que seria proveitoso tratar apenas dois dos principais fatores que fazem variar as dimensões das peças, não sendo esquecido que existem outros fatores que podem fazer variar os resultados e que na hora de extrair conclusões terão de ser tidos em conta para poder obter resultados fiáveis.

No gráfico seguinte está representada uma média do número de calibres produzidos por ordem de fabrico para o ano de 2012 para o formato 33x33.

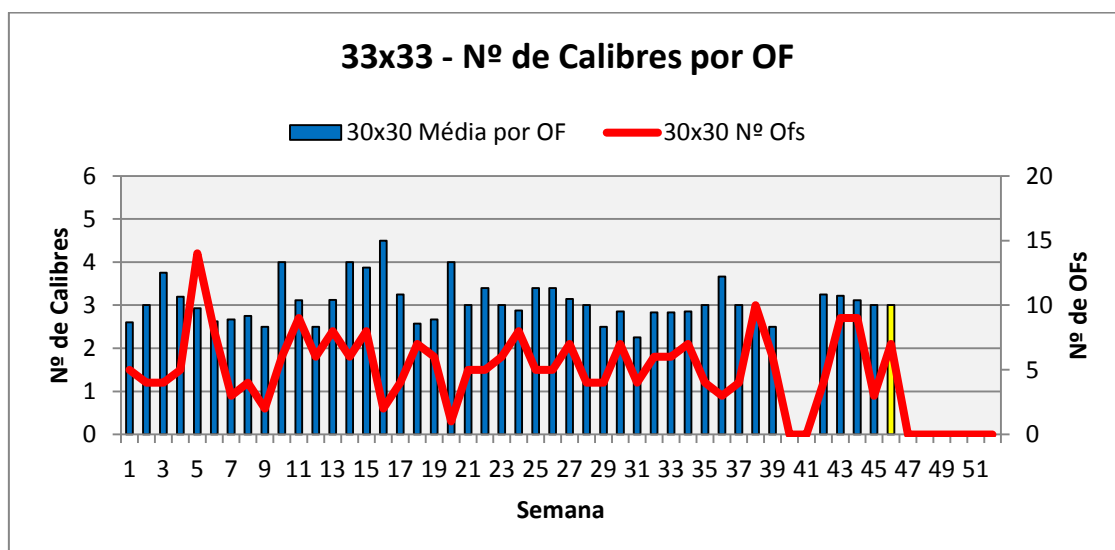


Gráfico 1 - Número de calibres produzidos por ordem de fabrico para o formato 33x33.

Como se pode observar pelo gráfico apresentado a média do número de calibres por ordem de fabrico é quase sempre superior a 2, de onde se conclui que são raras as vezes que se consegue trabalhar apenas com um único calibre. Na empresa, até à data, o objetivo é não produzir mais que 2 calibres, sendo que como se pode observar na figura ainda são muitas as ordens de fabrico onde são produzidos 3 e até 4 calibres.

Como descrito anteriormente para o estudo deste problema serviu de base a listagem de fatores realizada no decorrer do projeto kaizen, tendo sido estudados dois dos que foram identificados nesse trabalho e incluídos no fator máquina, a saber: pressão de prensagem e variação de dimensões de cunhos.

#### ***4.1.1 Pressão de prensagem***

Para estudar este fator foi elaborado um conjunto de testes que permitiu perceber quais as diferenças de pressão de prensagem em duas vertentes.

Por um lado, é necessário perceber quais as diferenças de pressão específica de prensagem entre cada prensada. Neste trabalho pretende-se saber quanto varia e se esta variação é suficiente para fazer com que peças de prensadas consecutivas tenham calibres diferentes.

Por outro lado, pretende-se perceber qual é a variação de pressão específica de prensagem de alvéolo para alvéolo numa mesma prensada. O carregamento da prensa, por mais afinado que esteja o processo, não é uniforme em todo o molde. Assim, pretende-se com este estudo perceber quanto varia e que influência tem estas diferenças de pressão nos calibres das peças prensadas.

##### ***4.1.1.1 Variação da pressão específica entre prensadas consecutivas***

Para se obter informação relativa a este aspeto foi necessário idealizar um teste que permitisse retirar conclusões acerca da pressão específica de prensagem e a sua influência nos calibres das peças prensadas.

Para o efeito foi realizado o teste<sup>1</sup> cujo esquema pode ser observado na figura 17 que consistiu em retirar 18 prensadas consecutivas e registar o valor de pressão de prensagem de cada prensada. No anexo 1 podemos observar todos os parâmetros da prensa utilizados na produção do formato 33x33. As peças dessas mesmas prensadas foram marcadas para posteriormente poderem ser analisadas. O processo foi interrompido na saída do secador e as peças levadas para o processo de cozedura para que pudessem posteriormente ser medidas e calculados os calibres das mesmas. Durante este processo foram quebrados dois conjuntos de prensadas que não foram contabilizados no ensaio. Por este motivo, apenas foi possível retirar valores de 16 prensadas consecutivas.

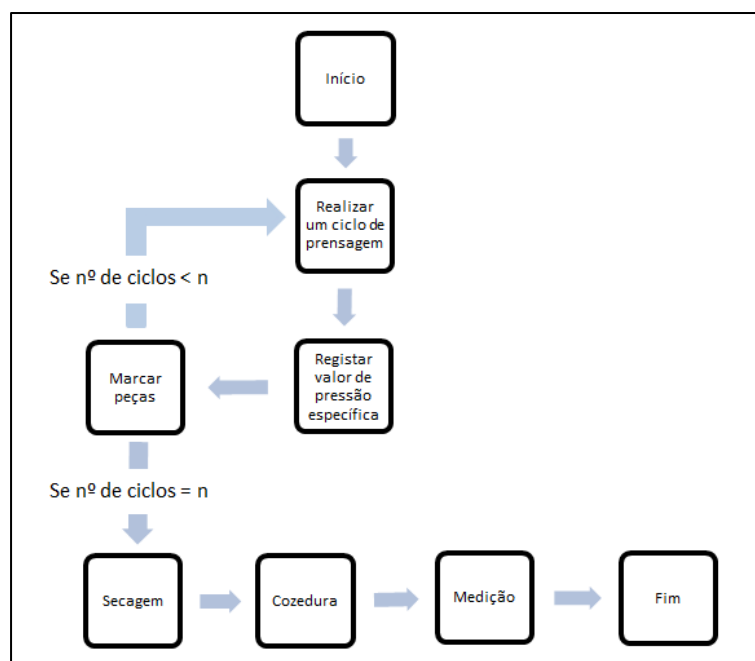


Figura 17 – Esquema dos procedimentos do teste 1.

Assim, foram analisados em primeiro lugar os valores de pressão de prensagem que podem ser consultados na tabela 5.

<b>Média</b>	352(bar)
<b>Desvio padrão</b>	7.40
<b>Mínima</b>	336
<b>Máximo</b>	361

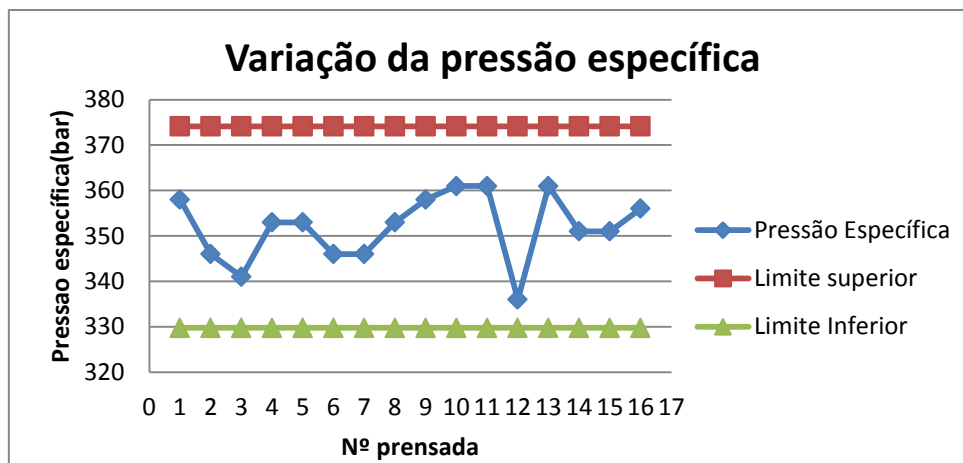
Tabela 5 – Resultados da pressão específica de prensagem.

Partindo dos valores obtidos foram calculados os limites de controlo. Para o cálculo destes limites foram utilizadas as equações 7 e 8.

$$\text{Limite superior} = \text{Média} + 3 (\text{Desvio padrão}) \quad (7)$$

$$\text{Limite Inferior} = \text{Média} - 3 (\text{Desvio padrão}) \quad (8)$$

No gráfico 2 pode-se observar a variação da pressão específica de prensagem e os limites de tolerância para esta variável.



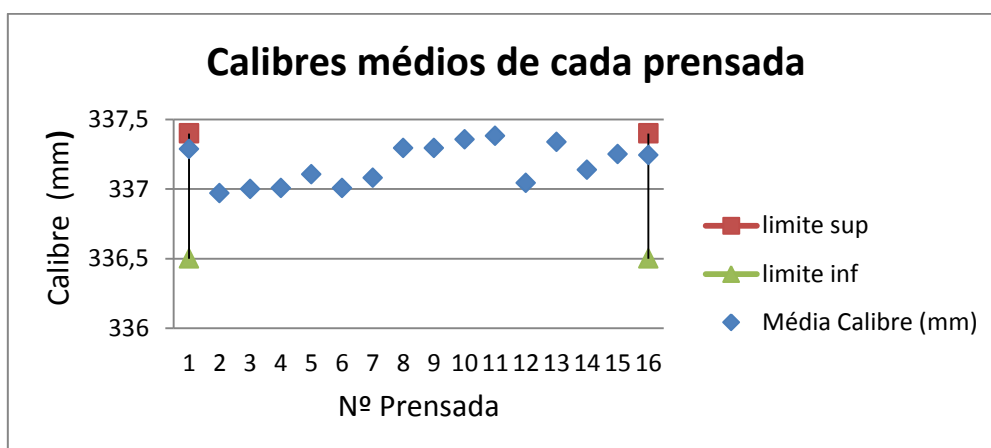
**Gráfico 2 – Variação de pressão específica de prensagem e limites de tolerância.**

Como se pode observar no gráfico, os pontos de pressão estão dispostos de uma forma aleatória e não existem pontos fora dos limites de controlo. Por consequência, poderá afirmar-se que o processo parece estar estatisticamente controlado e as variações que se observam resultam todas de causas naturais ao processo. Causas essas que por indicações do fabricante não podem ser eliminadas neste processo.

Para observar as variações de calibres foi necessário medir todas as peças prensadas e de seguida calcular o seu calibre. Para atribuição do número do calibre foram utilizados os valores tabulados que podem ser consultados no anexo 3.

O molde utilizado é um molde de quarto saídas o que faz com que, a cada prensada se obtenham 4 peças. Para analisar a variação de pressão específica de prensagem entre prensadas foi calculada uma média dos calibres de cada prensada para que seja mais fácil visualizar a relação entre pressão específica de prensagem e calibre médio dessa mesma prensada.

No gráfico 3 podemos observar o calibre médio de cada prensada retirada para o teste 1.



**Gráfico 3 – Calibre médio de cada prensada.**

Como se pode observar no gráfico os valores dos calibres médios encontram-se todos dentro dos limites de um único calibre, sendo que estamos a trabalhar muito próximo do limite superior.

Resta cruzar esta informação e verificar qual a relação entre a pressão específica de prensagem e os calibres produzidos, o que se apresenta no gráfico 4.

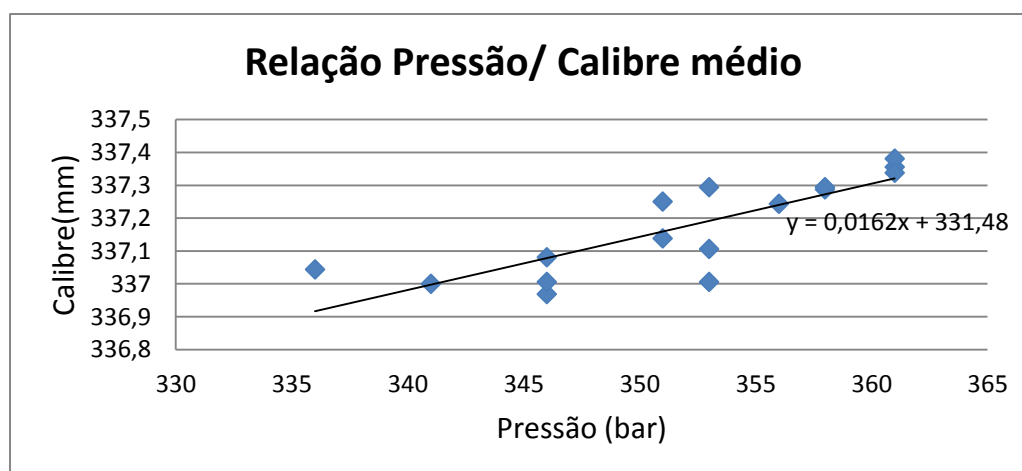


Gráfico 4 – Relação pressão/calibre médio de cada prensada.

Através da análise do gráfico e utilizando a equação da reta encontrada calculou-se a variação de calibre produzida pelos valores mínimo e máximo da pressão verificada cujos resultados podem ser observar na tabela 6.

Pressão	Min (bar)	336
	Max (bar)	361
	Delta Pressão	25
Calibre	Min (mm)	336.9232
	Max (mm)	337.3282
	Delta Calibre	0.405

Tabela 6 – Variações de pressão e variações de calibre das peças.

Para uma variação de pressão específica de 25 bar obteve-se uma variação de calibre de 0.405 mm. Este valor é sensivelmente metade da amplitude dos calibres, o que significa que se se trabalhar com valores médios de calibre perto do ponto médio do calibre tablado, não será a variação de pressão entre prensadas responsável por se começar a fabricar mais de que um calibre para cada ordem de fabrico. Na tabela 7 estão descritos os objetivos e os resultados do teste.

Causa do problema	Teste	Objetivo do teste	Resultados
Variação da pressão de prensagem entre prensadas consecutivas	Teste 1	Estudo da variação de calibre em função da variação de pressão de prensagem	A variação de calibre em função da pressão de prensagem é dada pela equação $Y(\text{mm}) = 0,0162x + 331,48$ A variação máxima de pressão entre cada prensada produz uma variação no calibre da ordem de 0,4 milímetros

Tabela 7 - Resumo teste 1.

#### 4.1.1.2 Variação de pressão específica de prensagem entre cada alvéolo do molde

Para estudar as diferenças de pressão específica de prensagem entre prensadas consecutivas tivemos de obter uma média dos calibres de cada prensada, para assim podermos chegar a uma relação entre pressão específica de prensagem e calibres das peças prensadas. Neste ponto pretendemos agora perceber o porquê de numa mesma prensada obtermos valores significativamente diferentes de calibre em cada alvéolo. No gráfico 5 estão representados os dezasseis conjuntos de peças que no total se traduzem em 64 peças.

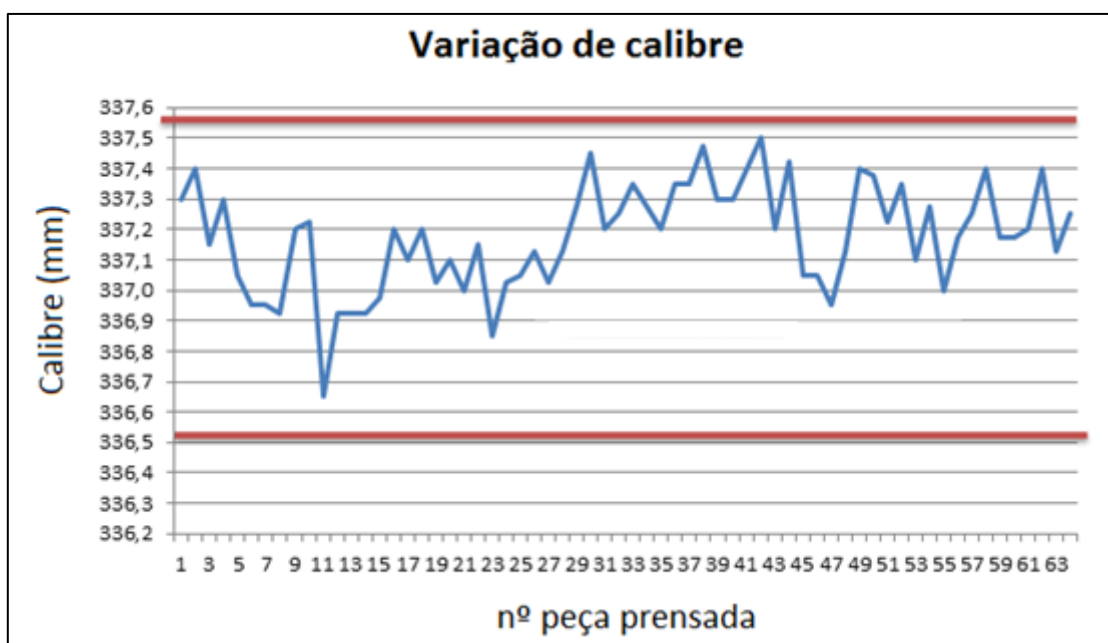
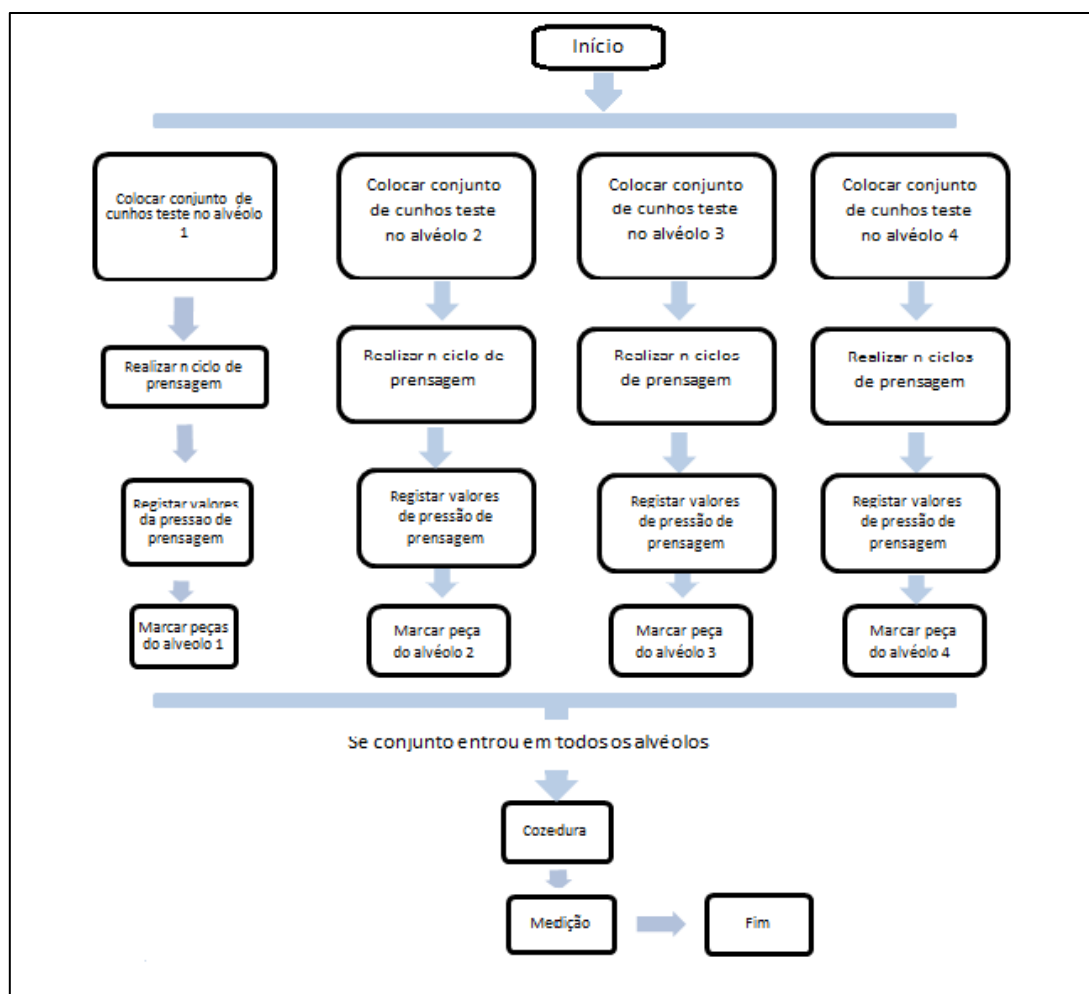


Gráfico 5 - Calibre de todas as peças prensadas no teste 1.

É evidente que se registam diferenças bastante grandes nas dimensões das peças de uma mesma prensada. Vários são os fatores que podem dar origem a esta situação, entre os quais diferenças no carregamento do pó, dimensões de cunhos e a própria distribuição de pressão pelo molde.

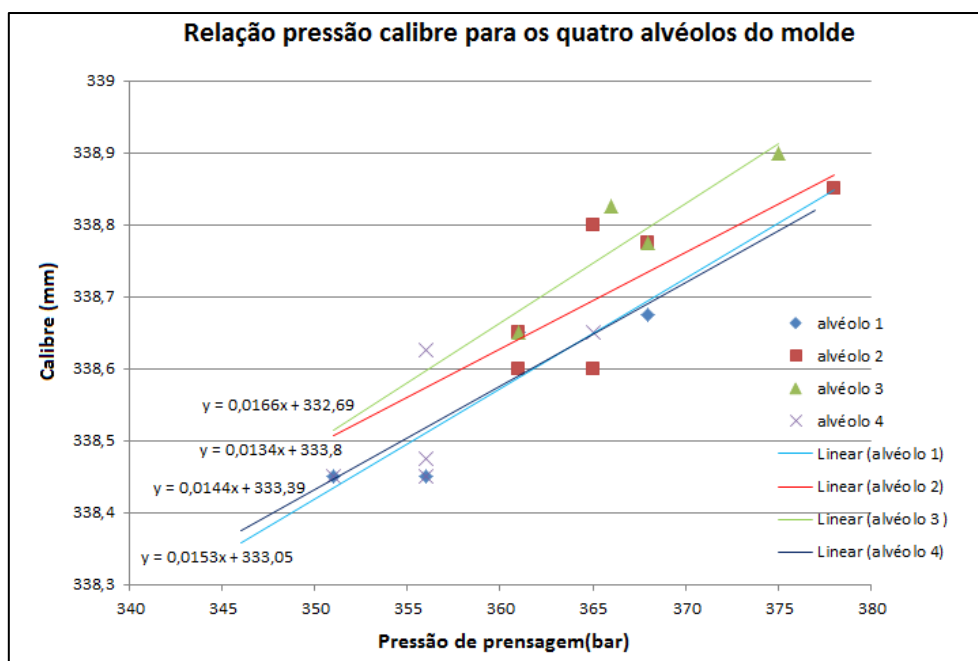
Para o efeito foi efetuado o teste 2, cujo esquema pode ser consultado na figura 18, com o objetivo de poder avaliar as diferenças de pressão exercidas em cada alvéolo. Neste teste foi escolhido um conjunto de cunhos seminovos tardoz e face. Foram colocados estes dois cunhos no alvéolo 1 do molde e foram retiradas 6 prensadas consecutivas, registando-se a pressão de prensagem, marcando-se os mosaicos para posteriormente serem levados ao forno e determinado o seu calibre. De seguida, trocamos estes mesmos cunhos para o alvéolo 2 e repetimos o procedimento até o conjunto ter prensado peças em todos em todos os alvéolos.



**Figura 18 – Esquema dos procedimentos do teste 2.**

Durante todo o processo do teste ocorreu um elevado número de quebras, o que limitou ainda mais a amostra estudada. Os resultados obtidos podem ser observados no gráfico 6.





**Gráfico 6 –Diferenças na relação pressão calibre para cada alvéolo do molde.**

Como podemos observar no gráfico 6 existem diferenças nas quatro relações pressão calibre. A posição 1 e 4 apresentam valores muito próximos destacando-se a posição 3 que é notoriamente a posição onde se verifica o maior carregamento por parte da prensa. Conhecendo então a relação pressão específica calibre para cada alvéolo foi escolhido aleatoriamente um valor de calibre (338,6 bar) e calculada a pressão a que teria de ser prensado o pó. Desta maneira foi possível obter valores de diferença de pressão entre os alvéolos que se apresentam na tabela 8.

Diferenças de pressão entre alvéolos (bar)						
	Alvéolo 1	Alvéolo 2	Alvéolo 3	Alvéolo 4	Média alvéolo 1 e 4	Média alvéolo 2 e 3
<b>Alvéolo 1</b>	0	6,4	8,5	2,5	1,2	6,5
<b>Alvéolo 2</b>		0,0	2,1	-2,0	-3,2	2,0
<b>Alvéolo 3</b>			0,0	-6,0	-7,3	-2,0
<b>Alvéolo 4</b>				0,0	-1,2	4,0
<b>Média alvéolo 1 e 4</b>					0,0	5,2
<b>Média alvéolo 2 e 3</b>						0

**Tabela 8 - Diferenças de pressão entre cada alvéolo**

Na tabela 8 pode observar-se que o máximo das diferenças é 8,5 bar entre o alvéolo 1 e alvéolo 3 e significa que é necessário aplicar mais 8,5 bar de pressão no alvéolo 1 para se obter uma peça do mesmo calibre que no alvéolo 3. Utilizando este valor na relação pressão calibre encontrada no gráfico 4 (teste 1) calculou-se a variação de calibre produzida. Pode então concluir-se que a uma variação de 8,5bar corresponde uma variação no calibre de 0,13mm.

Pode-se, por conseguinte, afirmar que a prensa não distribui a pressão de igual forma pelos diferentes alvéolos, carregado mais as peças que se encontram no meio do molde. Na tabela 9 pode-se observar um resumo do teste realizado.

Causa do problema	Teste	Objetivo do teste	Resultados
<b>Variação de pressão de prensagem entre cada alvéolo</b>	Teste 2	Estudo das diferenças de pressão de prensagem entre cada alvéolo	O valor máximo de variação de pressão é de 8,5 bar correspondente a diferença entre alvéolo 1 e alvéolo 3 e produz uma variação de calibre de 0,13mm. A pressão não é distribuída de igual forma pelo molde, os alvéolos interiores são mais carregados que os alvéolos exteriores sendo o alvéolo 3 mais carregado que o alvéolo 2.

**Tabela 9 - Resumo do teste 2.**

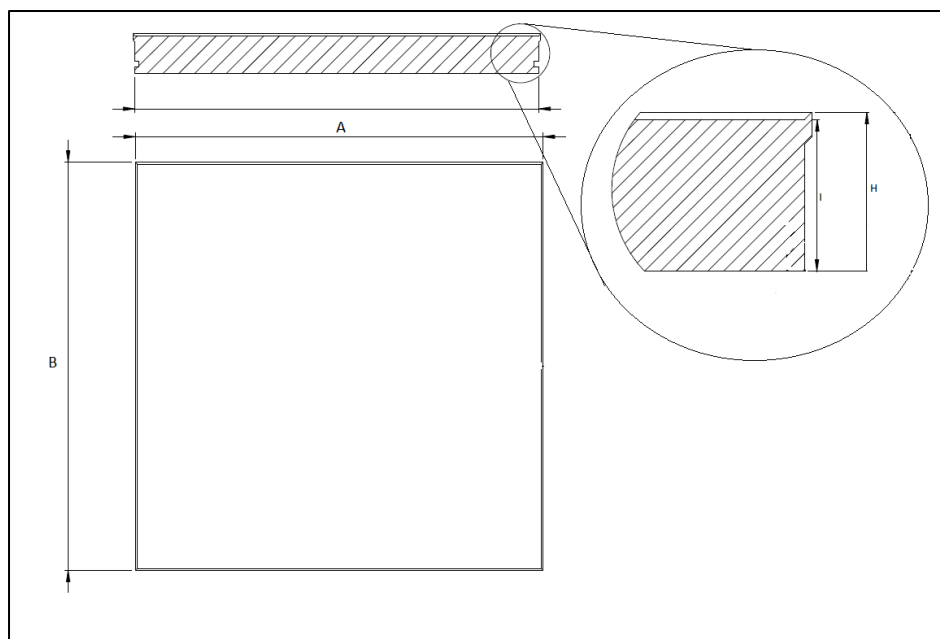
#### ***4.1.2 Variação do calibre em função da variação dimensional das ferramentas utilizadas***

Como já referido, um dos fatores que tem especial importância para as diferenças de calibres de cada prensada são as dimensões das ferramentas utilizadas. Este problema pode ser analisado dividindo-se em duas partes. Uma diz respeito aos cunhos face, já que é através destes que é exercida a pressão de prensagem e se as medidas dos quatro cunhos não forem iguais, estes não vão exercer a mesma pressão. A outra parte do problema tem a ver com as dimensões dos cunhos tardo. Se os cunhos tardo não forem todos iguais observa-se um problema de carregamento de pó. Se as quantidades de pó não forem iguais em todos os alvéolos vamos obter variações no peso da peça e consecutivamente variações nas densidades aparentes o que leva a uma retração maior ou menor que se vai refletir no calibre das peças.

##### **4.1.2.1 Medições de ferramentas**

Com o objetivo de levar a cabo o estudo da variação dos calibres em função das dimensões das ferramentas foi necessário inicialmente conhecer as geometrias das ferramentas e as medidas necessárias a tomar.

Na figura 19 pode-se observar o desenho técnico de um cunho, bem como a localização das medidas a tomar. No anexo 4 pode-se observar as medidas tabuladas para a recepção de cunhos e matrizes.



**Figura 19 – Explicação de medidas a tomar nos cunhos.**

Como se pode observar na figura as cotas A e B dizem respeito a largura e comprimento da ferramenta já as cotas H e I dizem respeito a altura do cunho. A cota H é medida na aresta do cunho e a cota I corresponde a altura do cunho tomada a medida na borracha. A cota I é de fácil medição para os cunhos que apresentam padrões liso, sendo que quando trabalhamos com outro tipo de padrões torna-se de difícil obtenção.

#### **4.1.2.2 Relação entre calibres e dimensões de ferramentas**

Para se obter uma relação entre calibre e dimensões das ferramentas utilizadas foi idealizado um modelo de teste que pode ser observado na figura 20. No teste 3 queremos estudar a relação entre o calibre das peças e variação da cota i em molde com placa de monocalibre. O teste 4 é semelhante ao teste 3 sendo que foi utilizado um molde sem placa de monocalibre para podermos comparar os valores. No teste 5 foi estudado o calibre das peças em função da variação da cota h dos cunhos tardoz.

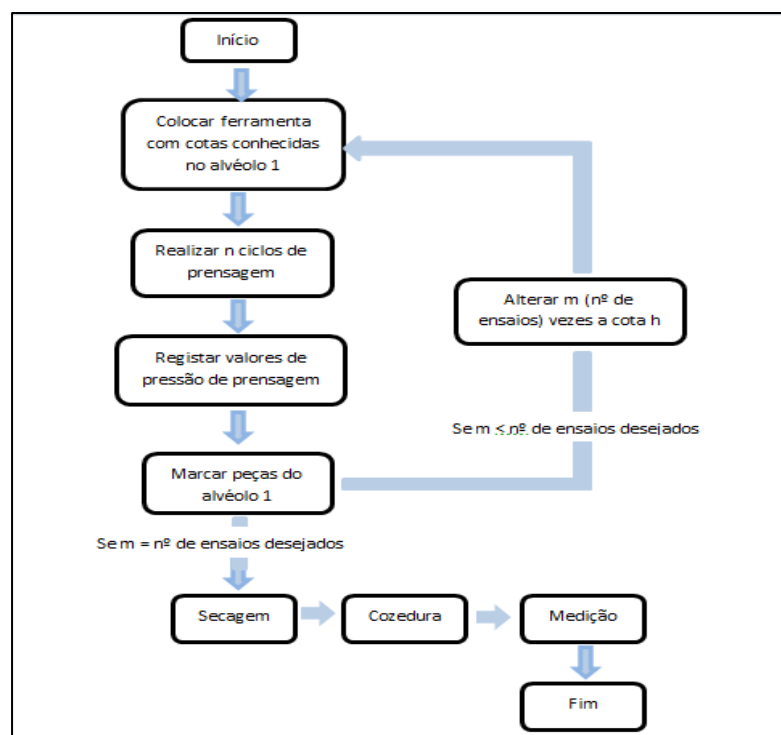


Figura 20 - Esquema dos testes 3, 4 e 5.

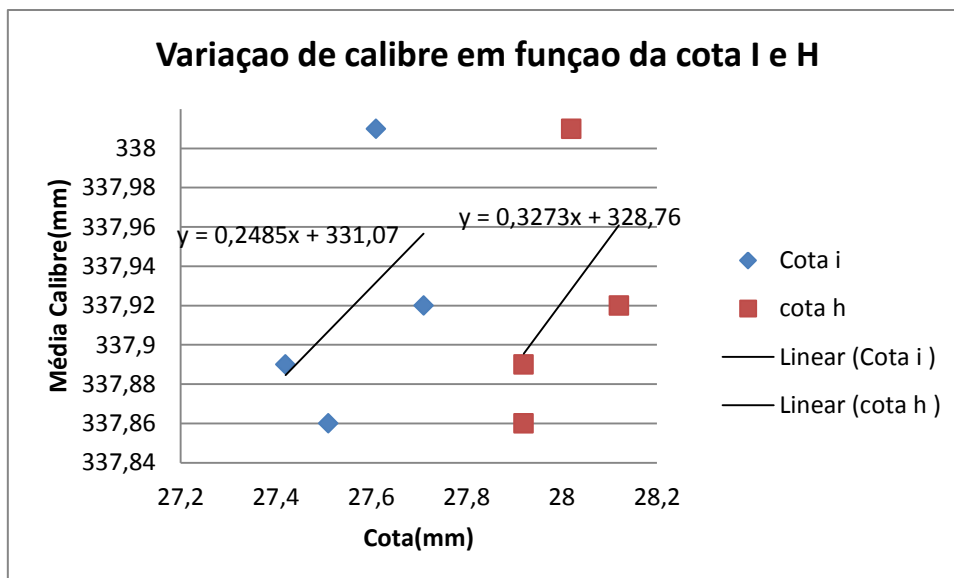
Assim, para os cunhos face organizou-se o teste 3 onde retiramos 9 prensadas para cada ensaio. A cada ensaio corresponde uma nova cota  $i$  e  $h$  do cunho face. Na tabela 10 estão representadas as medidas registadas para o teste 3.

nº cunho	i1 (mm)	i2(mm)	i3(mm)	i4(mm)	i medio	h1(mm)	h2(m m)	h3(mm)	h4(mm)	h medio
22	27.52	27.45	27.53	27.51	27.5025	27.89	27.89	27.97	27.94	27.9225
22+0,1 mm	27.62	27.55	27.63	27.61	27.6025	27.99	27.99	28.07	28.04	28.0225
22+0,2 mm	27.72	27.65	27.73	27.71	27.7025	28.09	28.09	28.17	28.14	28.1225
4	27.45	27.44	27.39	27.4	27.42	27.99	27.88	27.89	27.94	27.925

Tabela 10 – Medidas dos cunhos utilizados no teste 3.

Como se pode observar na tabela 10 foram estudados apenas os efeitos da variação das cotas  $h$  e  $i$  pois são as únicas cotas que têm influência no calibre da peça. As cotas  $A$  e  $B$  são cotas que terão especial importância para a boa formação dos cantos do mosaico sendo cotas a avaliar a quando o estudo do ciclo de vida das ferramentas. Para minimizar o erro de medição foram realizadas 4 medições e posteriormente calculada sua média.

No gráfico 7 pode observar-se a relação média de calibre de ensaio em função das médias das cotas  $I$  e  $H$ .



**Gráfico 7 - Calibre em função das cotas i h do cunho face utilizado em molde de formato 33x33 com placa de monocalibre.**

Os resultados não revelaram uma variação muito significativa de calibre. O intervalo de cada calibre é aproximadamente de 1 milímetro, no gráfico observa-se que uma variação de cerca de 3 décimos de milímetro na altura do cunho face produz uma diferença de cerca de 1 décimo de milímetro no calibre. Se os calibres não variam em valores maiores podemos concluir que a pressão específica de prensagem neste alvéolo não teve uma variação significativa a quando da utilização de cunhos face com alturas diferentes.

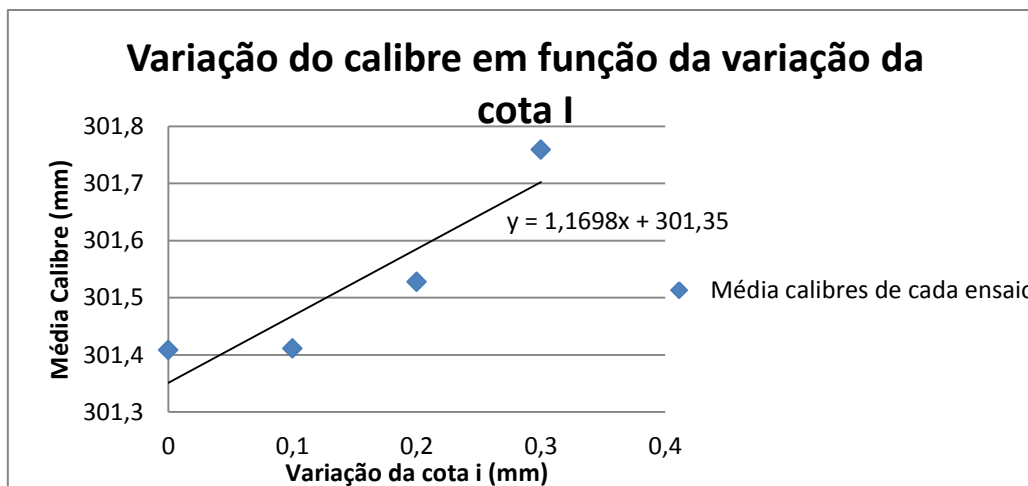
Este facto pode explicar-se pela existência de placas de monocalibre nos moldes superiores. Este sistema faz com que a pressão seja distribuída pelos quatro alvéolos de modo a obter valores de pressão específica similares, sendo que seria de esperar variações maiores que as encontradas no teste.

Na tabela 11 pode observar-se um resumo do teste realizado.

Causa do problema	Teste	Objectivo do teste	Resultados
Variação da altura dos cunhos face em molde com placa de monocalibre	Teste 3	Estudo da variação do calibre em função da variação da altura do cunho face em moldes com placa de monocalibre	A variação de calibre em função da altura I dos cunhos face em molde com placa de monocalibre é dada pela equação $Y(mm)=0,248x + 331,7$

**Tabela 11 - Resumo do teste 3.**

Por conseguinte, foi realizado um ensaio similar (Teste 4) mas agora num molde não dotado de placa de monocalibre para podermos comparar os resultados obtidos. O Teste 4, em todo similar ao teste 3, foi realizado num formato de 30x30 sem placa de monocalibre e onde foi estudado apenas o efeito da cota I visto que do teste anterior podemos concluir que as relações calibre vs. cota I e H são muito parecidas podendo assim ser desprezada a cota h. Foram obtidos os resultados que se apresentam no gráfico 8.



**Gráfico 8 - Média de calibre em função da variação da cota i do cunho face utilizado em molde de formato 30x30 sem placa de monocalibre.**

Observando o gráfico podemos concluir que os valores das alturas dos cunhos em molde sem placa de monocalibre tem um peso muito maior na variação do calibre das peças prensadas. Para uma variação de 3 décimos de milímetro na altura obtemos uma variação de 0,4 milímetros no calibre.

Na tabela 12 podemos observar um resumo do teste 4.

Causa do problema	Teste	Objetivo do teste	Resultados
<b>Variação da altura dos cunhos face em molde sem placa de monocalibre</b>	Teste 4	Estudo da variação do calibre em função da variação da altura do cunho face em moldes sem placa de monocalibre	A variação de calibre em função da variação altura I dos cunhos face em molde sem placa de monocalibre é dada pela equação $Y(\text{mm}) = 1,169x + 301,35$

**Tabela 12 - Resumo do teste 4.**

O teste 5 é uma adaptação dos dois testes anteriores, sendo que agora alterou-se a cota h dos cunhos tardez, introduzindo chapas entre o cepo do molde e o cunho, mantendo as dimensões do cunho face. Neste teste decidiu-se também controlar o peso das peças produzidas para verificarmos a variação do peso médio em função do peso médio das peças de cada ensaio.

Nos gráficos 9 e 10 podem observar-se os resultados obtidos para o estudo da variação do calibre em função da variação do cunho tardez e para o estudo da variação do peso da peça em função da variação da dimensão do cunho tardez.

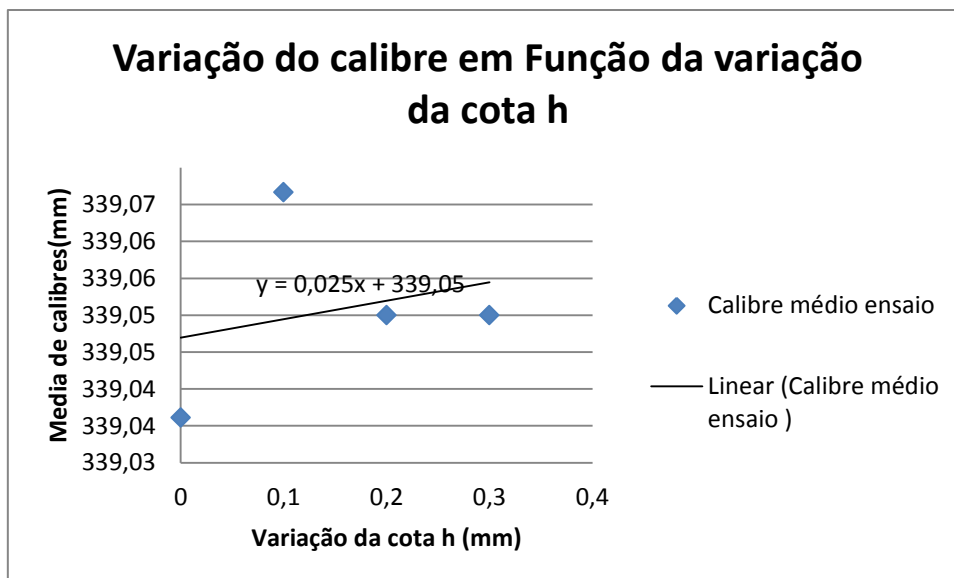


Gráfico 9 - Calibre em função da variação de cota h do cunho tardoz utilizado.

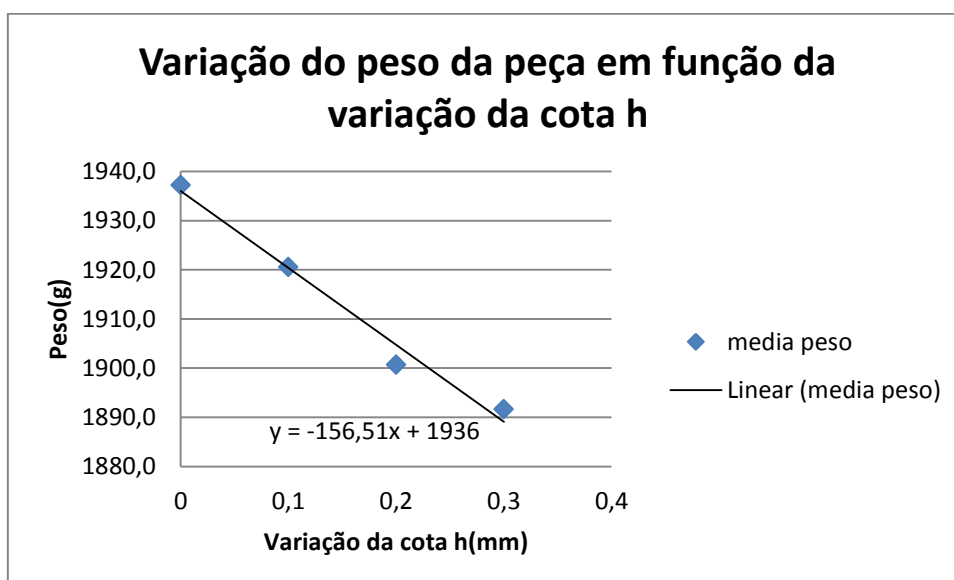


Gráfico 10 - Peso da peça em função da variação da cota h do cunho tardoz.

Os resultados obtidos não correspondem totalmente aos resultados esperados. Como podemos observar pelo gráfico a uma variação de 3 décimos de milímetro na cota h corresponde uma variação de cerca de 1 centésimo de milímetro no calibre. Ainda assim do gráfico 11 podemos retirar que a medida que aumentamos a cota H dos cunhos tardoz o valor do peso das peças prensadas vai diminuindo. Este facto é facilmente explicado pois com o aumento da cota h vamos diminuir o volume da cavidade do molde e por consequência diminuimos também a quantidade de pó presente em cada cavidade.

O teste foi realizado num molde 33x33 dotado de placa de monocalibre e apresenta variações mínimas nos calibres das peças depois de alteradas as cotas dos cunhos tardoz. Seria de esperar que estas variações tomassem valores um pouco maiores, pois existe uma variação considerável do peso das peças prensadas.

Na tabela 13 pode-se observar um resumo do teste 5.

Causa do problema	Teste	Objetivo do teste	Resultados
<b>Variação da altura dos cunhos tardoz</b>	Teste 5	Estudo da variação do calibre em função da variação da altura do cunho tardoz	A variação de calibre em função da altura H dos cunhos tardoz é dada pela equação $Y(\text{mm})=0,025x + 339,5$ A variação do peso da peça em função da variação da altura do cunho tardoz é dada pela equação $Y(\text{g})=-156,51x + 1936$

**Tabela 13 – Resumo do teste 5.**

#### ***4.1.3 Propostas de melhoria***

Da observação e análise dos resultados dos testes realizados concluímos que o principal fator que contribui para a variação de calibre das peças prensadas prende-se com o facto da pressão específica de prensagem não ser igual em todos os alvéolos. Estas variações de pressão combinadas com diferenças nas dimensões nas ferramentas utilizadas são dois dos principais fatores que fazem com que não se obtenha um único calibre para cada ordem de fabrico.

Com vista a reduzir o impacto destes fatores foram analisadas duas medidas capazes de, combinadas, igualizar as pressões em cada alvéolo e produzir um único calibre.

##### ***4.1.3.1 Reintrodução do sistema de compensação de cunhos tardoz***

O sistema de compensação de cunhos tardoz consiste na utilização das propriedades dos cunhos isostáticos para uniformizar as pressões nos alvéolos. O sistema de compensação consiste em unir todos os cunhos tardoz com um tubo de alta pressão para que as cavidades de óleo dos cunhos funcionem como uma só. Quando a prensa exerce pressão o óleo dos cunhos vai migrar dos alvéolos onde a pressão é maior para os alvéolos onde a pressão é menor. Desta forma pode-se uniformizar a pressão de prensagem nos alvéolos fazendo com que se anulem, em parte, as diferenças de pressão relativamente ao próprio carregamento da prensa e também a pequenas diferenças na geometria dos cunhos. No essencial, este sistema funciona como o sistema de monocalibre utilizado nos moldes superiores.

Na figura 21, que a seguir se apresenta, pode observar-se o sistema de compensação de cunhos tardoz.





**Figura 21 – Sistema de compensação de cunhos tardoz.**

Como se observa na imagem é um sistema bastante simples, fácil de aplicar e que não traz custos elevados para a empresa.

Para avaliar o efeito deste sistema foi realizado o teste 6 composto por dois ensaios. No primeiro foi medido o calibre de todas as peças de 7 prensadas consecutivas e registado o seu valor na folha de registo de calibres. O segundo ensaio tem as mesmas características do primeiro, tendo-se, todavia, dotado a prensa com o sistema de compensação de cunhos tardoz.

Na figura 22 pode observar-se o registo efetuado dos calibres das peças prensadas antes e depois da introdução do sistema.



**Figura 22 – Dispersão dos calibres antes e depois da introdução do sistema de compensação de cunhos.**

Como se observa na figura 22, após a instalação do sistema de compensação de cunhos tardoz reduziu-se notoriamente a dispersão dos pontos referentes ao calibre das peças prensadas.

O sistema de compensação de cunhos tardoz foi já anteriormente utilizado pela empresa, tendo sido abandonado por gerar outro tipo de problemas. A principal diferença do sistema proposto por comparação com o sistema antigo reside no facto de não ser ligado o

tubo hidráulico a um dispositivo que permitia parar a prensa sempre que existia uma queda de pressão nos cunhos. Este dispositivo mostrou ter uma baixa fiabilidade. O sistema revelou-se problemático por não estar preparado para suportar as altas pressões exercidas pela prensa.

Para a reintrodução do sistema decidiu-se não utilizar o compensador que possibilita a paragem automática da prensa. Para conseguirmos manter os padrões de qualidade foi obrigatório o aumento da frequência de verificação de pressão de óleo nos cunhos. Esta alteração revelou outros problemas, como seja a facilidade de verificação do correto funcionamento do sistema.

Tal como podemos observar na figura 23, não é possível ver o sistema no momento em que o equipamento está a funcionar, tornando-se, por isso, impossível controlar o estado do equipamento.



**Figura 23 – Vista da parte inferior da saída da prensa atualmente.**

O principal problema deste sistema prende-se com o facto de quando há uma fuga de óleo num dos cunhos, como estão todos interligados, perdemos todo o fluido em todas as ferramentas, fazendo com que as peças produzidas não estejam dentro dos padrões de qualidade da empresa.

Para a resolução deste problema foram propostas duas soluções:

- Retirar a tela de recolha de resíduos, aumentando a frequência de limpeza por parte do operador, conforme se ilustra na imagem da figura 24.



**Figura 24 - Vista da parte inferior da prensa sem tela de recolha de resíduos.**

- Substituir a tela por um tipo de tela transparente e mais maleável que possibilite ao operador observar o sistema com o equipamento em funcionamento.

#### ***4.1.3.2 Criação de conjuntos predefinidos de cunhos face que otimizem as pressões nos quatro alvéolos***

Muito embora as dimensões dos cunhos face por si só não sejam a principal causa da variação no calibre, tornam-se num fator muito importante quando estamos a trabalhar com um molde sem placa de monocalibre. Mesmo não sendo um fator com especial importância quando o molde está dotado de tecnologia monocalibre, é possível utilizar estas variações de dimensão das ferramentas no sentido de um melhoramento nos calibres produzidos.

Como foi referido anteriormente o carregamento da prensa não é uniforme, sendo os alvéolos interiores carregados com mais pressão que os alvéolos exteriores. Assim, idealizou-se uma medida que possibilitasse igualizar as pressões utilizando as variações de dimensão.

Para cada ordem de fabrico os cunhos terão um trabalho de preparação para posteriormente entrarem em funcionamento. Todos os cunhos serão medidos e serão criados conjuntos que trabalharão sempre juntos até que seja necessário substituir algum por danos. Cada cunho do conjunto terá uma posição predefinida no molde. Este posicionamento é atribuído tendo em vista igualizar as pressões nos alvéolos. Num caso ideal todos os cunhos teriam as mesmas medidas, não sendo isto possível a dispersão dos valores das cotas  $h$  e  $i$  deverá ser a menor possível. O posicionamento nos alvéolos será definido segundo o critério: cunhos com cotas mais elevadas serão posicionados nos alvéolos exteriores (alvéolo 1 e 4). Como a pressão de prensagem tem valores inferiores para estes alvéolos, se for colocado um cunho com uma espessura maior vamos dissolver este problema aproximando mais os valores dos calibres das peças prensadas.

Tendo em vista o programa de produção semanal, serão preparados os conjuntos necessários para essa mesma semana e será afixada informação em relação aos conjuntos a entrar em trabalho, para que seja possível aos operadores saberem que conjuntos e em que posições irão trabalhar os cunhos.

## **4.2 Problemas das ferramentas utilizadas**

Existem vários problemas relacionados com as ferramentas que têm influência tanto na qualidade do produto final como nos custos de manutenção. Assim neste ponto descrevem-se esses problemas e tenta-se posteriormente idealizar soluções que permitam reduzir os custos com manutenção de cunhos e ao mesmo tempo facilitar o trabalho dos operadores.

### ***4.2.1 Problema de desgaste de cunhos***

A abrasividade do pó atomizado é um dos fatores que faz com que exista uma componente de desgaste nas ferramentas utilizadas, dado que a Revigres é uma empresa cerâmica que trabalha com o sistema de prensagem a seco.

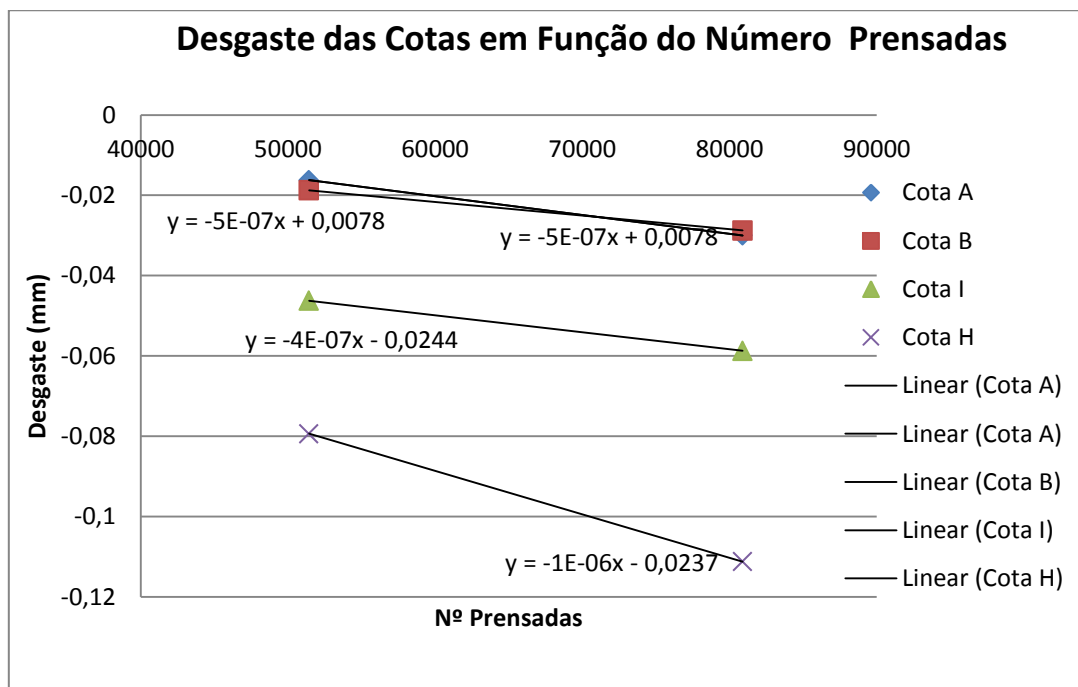
Na realização dos testes anteriores foi necessário efetuar um número elevado de medições de ferramentas. Neste processo de medição foi detetado que os cunhos sofriam alterações nas suas cotas, uma vez que alguns apresentavam medidas bastante inferiores às que estavam tabeladas.

Por consequência, foi levantada a questão do desgaste das ferramentas, colocando-se a pergunta sobre qual será o tempo médio de vida dos cunhos. Até à data da execução do projeto não se encontrou nenhum estudo realizado para saber qual o ciclo de vida das ferramentas em condições normais de trabalho.

No sentido de construir conhecimento sobre o assunto foi elaborado o teste 7, tendo por objetivo o estudo do ciclo de vida das ferramentas. Para isso foi criado um conjunto de cunhos face reparados de formato 33x33 do padrão resina. Este conjunto foi acompanhado em todas as suas ordens de fabrico e foi registado o número de prensadas realizadas.

No final da primeira ordem de trabalho os cunhos foram novamente medidos. Sem grande surpresa verificou-se que não apresentavam valores de desgaste suficiente para que pudessem ser contabilizados pelo método de medição utilizado. Foram novamente colocados em trabalho até se chegar à conclusão que só para valores da ordem das 50000 prensadas as ferramentas apresentavam valores que poderiam ser contabilizados. Deste modo, chegou-se à periodicidade de medições das ferramentas.

No gráfico 11 pode observar-se a evolução das dimensões dos cunhos em função do número de prensadas realizadas.



**Gráfico 11 – Desgaste das várias cotas das ferramentas em função do número de prensadas efetuadas.**

O teste realizado vai de encontro aos resultados esperados não sendo por isso um teste ainda conclusivo pois os valores de variação das cotas ainda se encontram dentro dos valores permitidos para trabalho. De notar que na Revigres nunca foi realizado um teste deste género o que leva à inexistência de uma norma relativa a dimensões permitidas de desgaste de cunhos. Porém, para que pudesse ser um teste conclusivo teria de se aumentar a sua extensão até se verificarem defeitos nas peças prensadas.

As diminuições das cotas A e B não têm influência direta nos calibres das peças mas têm especial importância no que diz respeito à perfeita formação de cantos e arestas das

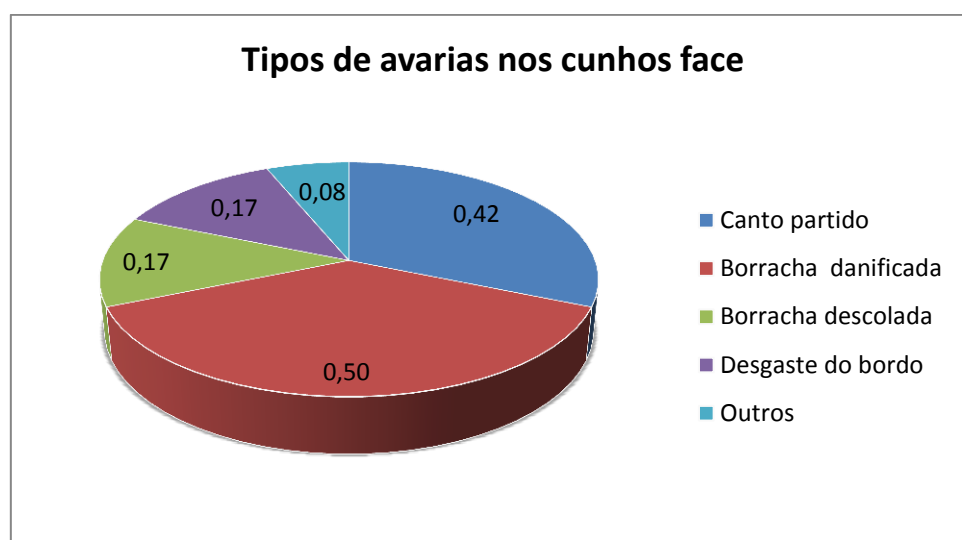
peças. No que diz respeito às cotas H e I, a sua influência já foi descrita nos pontos anteriores. Assim, é de especial importância levar a cabo este estudo para que futuramente seja possível substituir um cunho mesmo antes de ser verificado um defeito nas peças prensadas por ele.

#### 4.2.2 Levantamento das avarias

Neste ponto realiza-se um levantamento das principais avarias que obrigam à reparação tanto dos cunhos face como dos cunhos tardo. Irão ser analisadas também as principais causas que levam a estes problemas.

Para o efeito foi realizado o teste 8 onde foram colocadas no posto de trabalho dos prensadores folhas para o registo pormenorizado de todas e quaisquer avarias que ocorressem nas ferramentas.

Após o registo de todas as avarias detetadas, num período de 4 meses, podem observa-se os resultados obtidos para os cunhos face no gráfico 12.



**Gráfico 12 – Frequência de ocorrência dos tipos de avarias nos cunhos face.**

Como se pode observar no gráfico 12, os principais motivos de reparação para os cunhos face são cantos partidos e danos na borracha.

As causas que podem levar a estes problemas são inúmeras. Na tabela 14 estão descritas as mais prováveis que podem estar na origem de cada problema registado.

Problema	Causas
Canto Partido	Mau centramento de cunhos no molde Acidente de manuseamento
Borracha danificada	Má técnica de desmagnetização Acidente de manuseamento Existência de limalhas ou algum material no pó atomizado nos alvéolos
Borracha descolada	Má vulcanização por parte do fornecedor
Desgaste do bordo	Fim de ciclo de vida da ferramenta

**Tabela 14 – Causas possíveis por problema.**

No gráfico 13 estão representadas, por sua vez, os principais problemas detetados para os cunhos tardoz.

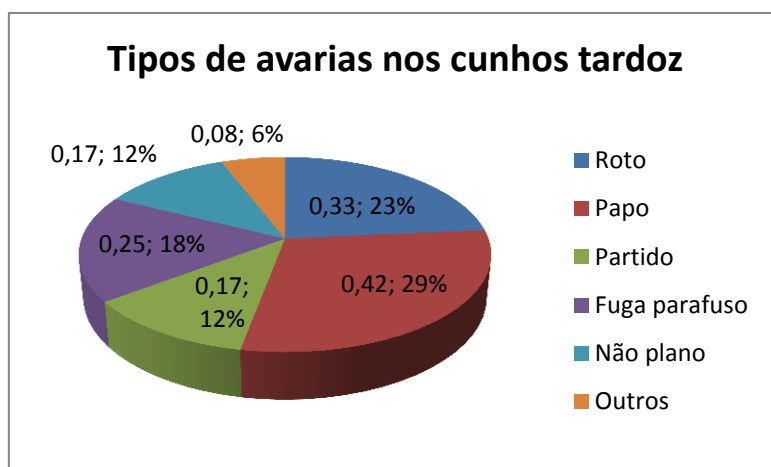


Gráfico 13 – Frequência de ocorrências dos tipos de avarias nos cunhos tardoz.

Na tabela 15 estão esquematizadas as possíveis causas que explicam cada um dos problemas ocorridos com os referidos cunhos.

Problema	Causas
Roto	Má vulcanização
Partido	Acidente durante manuseamento Fim de ciclo de vida da ferramenta
Papo	Mau carregamento de pó Excesso de pressão de óleo no cunho
Fuga	Defeito na construção de cunho
Não plano	Descentramento do cunho no molde

Tabela 15 – Causas possíveis por problema.

#### 4.2.3 Problemas de armazenamento e manuseamento

Neste ponto faz-se uma abordagem aos problemas de manuseamento e armazenamento das ferramentas utilizadas que levam a ocorrência de algumas causas identificadas no ponto anterior. Focamos a nossa análise em dois problemas. Em primeiro lugar tratam-se os problemas que dizem respeito à movimentação de ferramentas do ponto de armazenamento até à prensa onde irão ser utilizadas. Em segundo lugar abordam-se os problemas detetados no método de troca de cunhos nas prensas.

Na verdade, um dos principais problemas das ferramentas utilizadas no processo de prensagem prende-se com o facto de não existir um controlo exaustivo das mesmas. Como foi já referido, existe na Revigres um elevado número de cunhos. Desde a sua entrada na fábrica até saírem para reparação, esses cunhos não são controlados. Este facto deve-se,



principalmente, à desorganização que se verifica no armazém de cunhos e ao método de trabalho com estas ferramentas.

Na figura 25, pode observar-se metade do armazém de cunhos, assim como o método o método de armazenamento atual.



**Figura 25 - Vista geral do armazém de cunhos e vista pormenorizada do atual método de armazenamento.**

Como as imagens evidenciam, o armazém de cunhos é um espaço bastante grande e onde não existe um método definido para a movimentação de ferramentas. Assim, torna-se bastante difícil obter um controlo sobre estas ferramentas de maneira a perceber o que se passa com elas dentro da empresa. O método de armazenamento usado não permite também ter acesso a todos os cunhos de maneira fácil e dificulta a organização de uma metodologia de entrada e saída das ferramentas a cada ordem de trabalho.

Para além daquele problema observou-se também que os cunhos estão permanentemente sujos, o que obriga à sua limpeza à entrada e saída nas prensas, levando à perda de tempo por parte do operador.

Um outro problema com que este método de armazenamento se depara é o facto de ser necessário manusear as ferramentas só com força de braços, tornando-se num processo não só bastante doloroso quando se trabalha com formatos de dimensões maiores, mas também num processo que encarreta alguns perigos, visto que a queda de uma ferramenta pode ferir gravemente o operador.

Um outro problema detetado prende-se com o facto de os cunhos estarem pousados em pilhas separadas por cartão. Este método é propício a produzir não só marcas nas borrachas aquando do seu empilhamento, mas também a quebra de cantos ou arestas quando os cunhos são pousados.

No que diz respeito à troca de cunhos nas prensas, o método utilizado peca por ser totalmente manual, o que faz com que tenha de ser feito um esforço muito grande por parte dos operados, sendo necessário sempre mais do que um para efetuar este serviço. Este é, sem dúvida, um processo demorado e extremamente difícil quando se trabalha com formatos maiores. De seguida descreve-se de uma forma geral os passos necessários para colocar um cunho tardo e um cunho face no molde em trabalho, não esquecendo que quando se pretende retirar o cunho tardo ou face o processo é invertido.

Assim sendo, é necessário para colocar um cunho tardo:

1. Levantar em peso o cunho da bancada e recoloca-lo num carro de apoio;

2. Colocar um bloco de madeira no alvéolo para evitar acidentes de trabalho e facilitar o posicionamento final do cunho;
3. Levantar cunho do carro de apoio com a face frontal virada para a prensa;
4. Com o fim de curso da prensa ativo, pousar face frontal do cunho no molde sendo que a mangueira hidráulica deve estar já de dentro do alvéolo;
5. Colocar a mangueira hidráulica no orifício dos cepos;
6. Rodar o cunho 180º e deixar face traseira do cunho deslizar para dentro do alvéolo;
7. Com ajuda de uma alavanca levantar cunho para retirar bloco de madeira, deixando aliviar a força até o cunho cair totalmente dentro do alvéolo;

Para colocar um cunho face são necessários os seguintes passos:

1. Levantar em peso o cunho da bancada e recoloca-lo num carro de apoio;
2. Colocar borrachas por cima dos cunhos tardoz que se encontram a sua cota mais baixa
3. Levantar cunho do carro de apoio e com a face do padrão virada para baixo colocar cunho na borda do molde.
4. Com a face frontal virada para secador empurrar cunho ate que este caia no alvéolo respetivo.

Da descrição anterior conclui-se que o principal problema reside na troca de cunhos tardoz, pois, por existir o tubo hidráulico, neste caso são necessários muitos movimentos tanto para entrada como para saída do molde. De qualquer forma, este trabalho torna-se muito doloroso, não só na situação dos cunhos tardoz, mas também na dos cunhos face, sendo que a dificuldade aumenta na medida que aumenta o tamanho do formato.

Este método de troca de cunhos, que pode ser considerado artesanal, além de acarretar perigos e trabalhos bastante forçados por parte dos operados não é também um método que beneficie o bom estado das ferramentas utilizadas, pois, o risco de queda ou embate forte e posterior quebra está sempre presente.

#### ***4.2.4 Propostas de melhoria***

Após a análise de toda a envolvente relacionada com as ferramentas foi possível perceber que o principal problema se prende por um lado com o facto de não existir um bom método de trabalho que promova a organização das ferramentas utilizadas e por outro lado o método de armazenamento e manuseamento ser demasiadamente exigente em força para os operados.

Assim, as soluções para estes problemas passam necessariamente por mudanças em todo o método de trabalho. Deverá começar-se por alterar a maneira como estão identificados os cunhos e dessa forma obtermos uma maneira mais eficaz de controlo através da introdução das ferramentas nos sistemas informáticos. De seguida, deverá alterar-se o método de armazenamento e manuseamento das ferramentas, de maneira a torná-lo mais prático e intuitivo, sendo que com este novo método será mais fácil manter a organização e o controlo das ferramentas bem como eliminar uma fatia considerável de cunhos com necessidade de reparação.



#### **4.2.4.1 Codificação de cunhos**

Está já em curso na Revigres a implementação de um novo *software* de gestão que vai possibilitar a criação de uma nova categoria de equipamentos. Os cunhos serão agora classificados como objetos de gestão rotáveis.

Um rotável é um equipamento, órgão ou peça que pode ser aplicado, indistintamente, numa série de sistemas ou equipamentos em substituição de outros idênticos. São exemplos de rotáveis os cunhos visto que podem trabalhar em qualquer prensa sendo que no molde certo. O mesmo se passa com os motores elétricos, braços de máquinas de carga, braço de máquinas serigráficas, molde , entre outros, que são aplicáveis em múltiplos equipamentos.

Segundo (Cabral, 2004) o conceito de rotável está subjacente a certas políticas de manutenção em instalações standardizadas. São mantidos em estado operacional um conjunto de órgãos ou equipamentos prontos a ser utilizados em substituição de outros onde seja necessário efetuar trabalhos de manutenção. É uma política destinada a reduzir ao mínimo as necessidades de imobilização para manutenção.

Para o bom funcionamento do sistema foi necessário alterar a maneira como os cunhos são identificados, uma vez que a identificação através de um nome, como é feito atualmente, não é a melhor forma quando existe um volume de ferramentas muito elevado. Assim, foi proposta a codificação das ferramentas, o que vai normalizar e facilitar a identificação dos cunhos sem que haja possibilidade de trocas ou perda de informação.

No anexo 5 e 6 pode observar-se a codificação que foi proposta e implementada, bem como a codificação de padrões e alguns exemplos de codificação de cunhos.

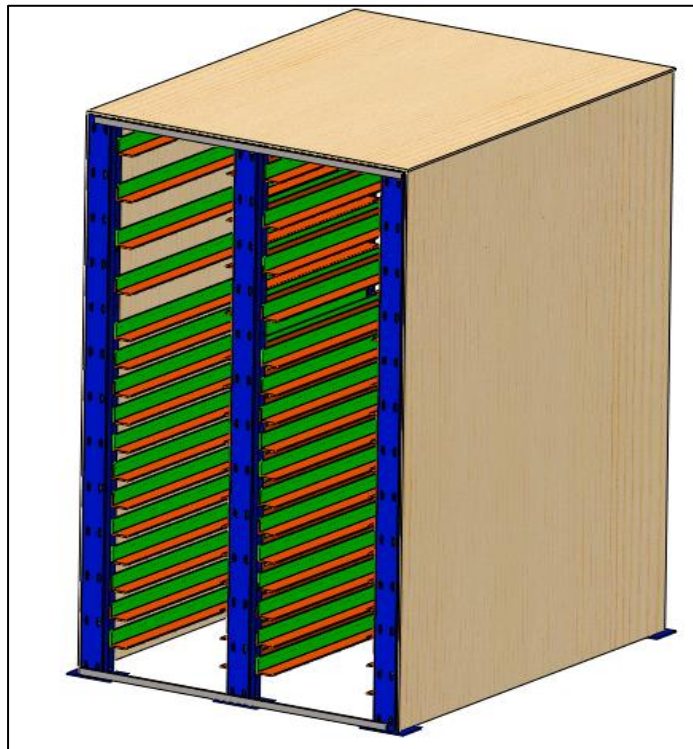
#### **4.3.4.2 Novo método de armazenamento e manuseamento**

Atendendo aos problemas encontrados no ponto 3.2.3 referentes ao processo de armazenamento considerou-se ser necessário alterar a maneira como os cunhos são armazenados. Em termos de solução, surgiu a ideia de armazenar os cunhos numa estante tipo porta tabuleiros da cantina. Foi construído um protótipo físico para avaliar a possibilidade de manuseamento com empilhador e otimizar espaçamentos entre prateleiras, protótipo esse que pode ser observado na figura 26.



**Figura 26 - Protótipo de estante para armazenamento de cunhos**

Na figura 27 pode observar-se uma imagem da estante projetada para os cunhos de formato 33x33. A informação técnica da estante pode ser consultada no anexo 7.



**Figura 27 - Estante projetada para armazenamento dos cunhos de formato 33x33.**

A estante projetada tem capacidade para 3 cunhos em cada prateleira o que perfaz um total de 72 cunhos face nas doze prateleiras inferiores e 24 cunhos tardo nas quatro prateleiras superiores.

Este novo método de armazenamento apresenta um grande número de vantagens em relação ao método atualmente utilizado na empresa, nomeadamente:

- Reduz o espaço necessário para guardar todos os cunhos;
- Elimina o risco de marcas na borracha, uma vez que os cunhos estão todos separados;
- Permite o acesso fácil a qualquer cunho sem necessidade de manusear outros;
- Permite o manuseamento de ferramentas com um empilhador ou *staker*, eliminando o manuseamento manual;
- Construído com material existente dentro da empresa que está atualmente inutilizado;

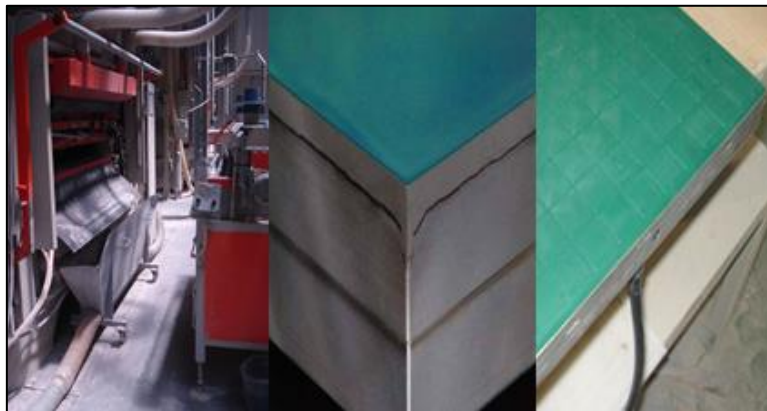
#### **4.3.4.3 Novo método de troca de cunhos nas prensas**

Com o objetivo de facilitar a troca de cunhos nas prensas e consequentemente diminuir o número de cunhos com necessidades de reparação por acidentes de manuseamento, foi estudada uma possível solução para eliminar o manuseamento manual dos cunhos aquando da entrada ou saída das ferramentas nas prensas.

Foram então estudados os principais problemas que levam a que não seja fácil projetar um mecanismo capaz de realizar a tarefa proposta, a saber: espaço reduzido de trabalho; ausência de pontos de fixação lateral nos cunhos; existência de um tubo hidráulico nos cunhos

tardoz que dificulta em muito o seu movimento tanto para entrada como para a saída do molde.

Os problemas descritos podem ser visualizados na figura 28.



**Figura 28 - Principais entraves a construção do equipamento de troca de cunhos.**

Face a estes problemas surgiu a ideia de criar uma máquina estilo empilhador capaz de colocar e retirar os cunhos nas prensas. O esboço da ideia inicial pode ser consultado em anexo 8.

Para a criação de tal protótipo foi estudada a solução de redesenhar um equipamento que à partida já estivesse dotado da força mecânica necessária para mover as ferramentas no sentido vertical; ter capacidade móvel carregado ou não; não apresentar um custo muito elevado e que seja um equipamento de fácil adaptação.

Adaptar um *staker* manual similar ao da figura 29 pareceu ser a solução que melhor se encaixa no tipo de equipamento procurado. No anexo 8 pode consultar-se as especificações do equipamento.



**Figura 29 - Equipamento a adquirir para construção de máquina de troca de cunhos.**

Fonte: <http://www.umw.com.my/Download%20Documents/Brochure/BT/PowerStacker/SHM080.pdf>

Partindo do *staker* pode começar-se a modelá-lo até que este supere todos os problemas. Para isso serão necessárias várias adaptações não só no *staker* como também nas próprias linhas de produção.

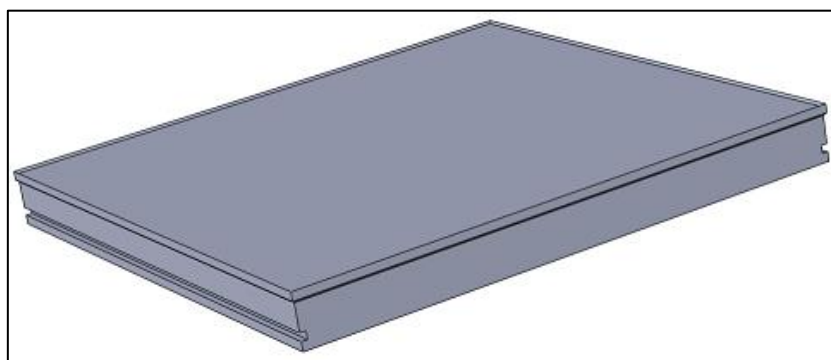
Relativamente ao equipamento a adquirir são necessárias várias alterações, nomeadamente:

1. Retirar garfos e substituir por um conjunto porta cunhos capaz de suportar o peso da ferramenta com um pequeno espaço para amarrar o cunho (descrito posteriormente);
2. Retirar pernas de apoio frontais e recoloca-las na direção oposta;
3. Recolocar rodas na direção da torre hidráulica;
4. Colocar um peso na parte posterior do equipamento garantindo que a quando da carga do cunho com maior massa(320kg) o equipamento se mantenha em equilíbrio na sua posição normal.

No que diz respeito ao método de amarração do cunho pelo equipamento (porta cunhos) existem vários problemas que obrigatoriamente tem de ser levados em conta para a construção de qualquer engenho.

A possibilidade de dotar os cunhos de pontos de fixação é de todos o ponto que mais facilmente poderia afetar a viabilidade da solução idealizada. Assim, seria necessário maquinar todos os cunhos criando um rasgo nas faces frontal e paralela que serviria de ponto de amarração para o conjunto porta cunhos. Tal alteração levaria bastante tempo para estar completamente implementada pois só os cunhos reparados é que teriam passado por esse processo no fornecedor.

A alteração pode ser observada na figura 30 e as especificações do rasgo a efetuar estão descritas no anexo 10.



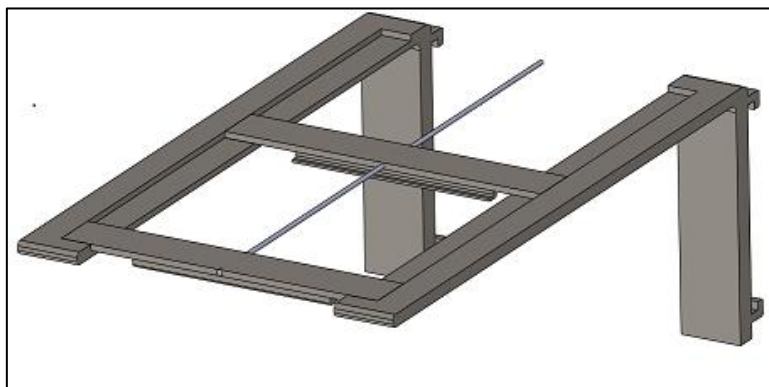
**Figura 30 - Cunho 45x45 tardoz com alterações necessárias.**

Para a modelação do conjunto porta cunhos teve-se em conta principalmente o espaço reduzido de trabalho entre o molde superior e inferior. O equipamento teria que não só de ser capaz de suportar o cunho suspenso entre os moldes como também permitir mobilidade do cunho amarrado na direção do carro de carregamento de pó, para assim ser possível colocar a mangueira hidráulica na sua posição eliminando a necessidade de rotação da ferramenta.

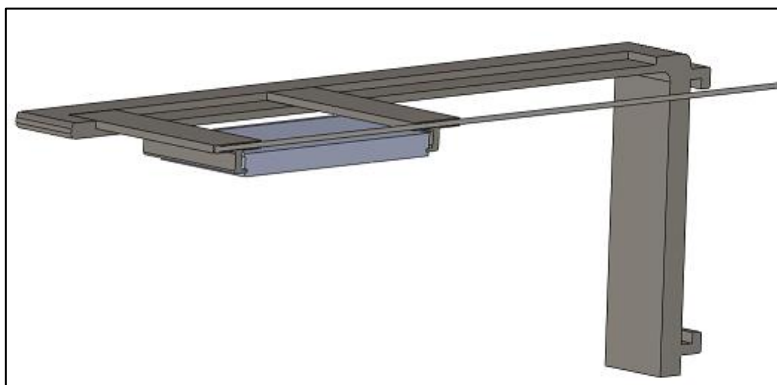
Foi atendendo a todos os problemas descritos acima que se pensou que seria útil aproveitar os garfos do equipamento adquirido ou similares e redesenha-los para a função desejada, sendo que deveriam estar sempre presentes as questões relativas a resistência mecânica do equipamento a quando da carga máxima.

Para o efeito foram projetadas pinças capazes de amarrar o cunho ligadas por um veio roscado que permitiria ajustar o equipamento a todos os formatos existentes na Revigres. De seguida foram redesenhados os garfos de empilhador para suportar o conjunto de pinças de amarração e ao mesmo tempo permitir o seu deslocamento ao longo dos grafos com e sem cunho acoplado.

O conjunto porta cunhos completo pode ser observado na figura 31 e na figura 32 onde está representada a imagem de um plano de corte do conjunto porta cunhos carregado com um cunho 45x45 tardoz. Toda a informação técnica relativa a cada peça do porta cunhos, bem como informação geral, pode ser consultada nos anexos 11, 12 e 13.



**Figura 31 – Porta cunhos completo.**



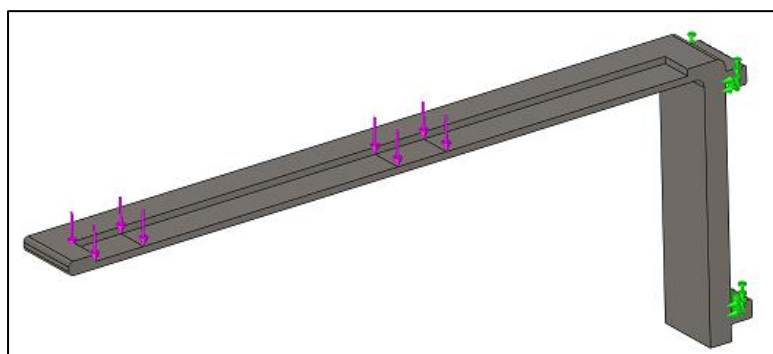
**Figura 32 - Vista em perspetiva de um plano de corte do conjunto porta cunhos carregado com cunho 45x45 tardoz**

A fim de perceber se o equipamento projetado é fiável foram realizadas algumas simulações em *solidworks* ao conjunto porta cunhos. Desprezaram-se os restantes órgãos, pois, analisando todo o equipamento pensa-se que a existirem falhas estruturais estarão aqui localizadas. Cada componente do conjunto é analisado separadamente sendo que se podem resumir as simulações a duas peças apenas: garfo do empilhador, e pinça de amarração.

Começando por simular o garfo do empilhador, foi necessário saber em que material seria este componente produzido. Após algum esforço para identificar o tipo de aço utilizado não foi possível chegar às especificações de tal material. Consequentemente, e tendo em conta o tipo de cargas a que este material está sujeito, optou-se por uma liga de aço com elevado limite de tensão de cedência e rutura. Escolheu-se uma das ligas de com maior tensão

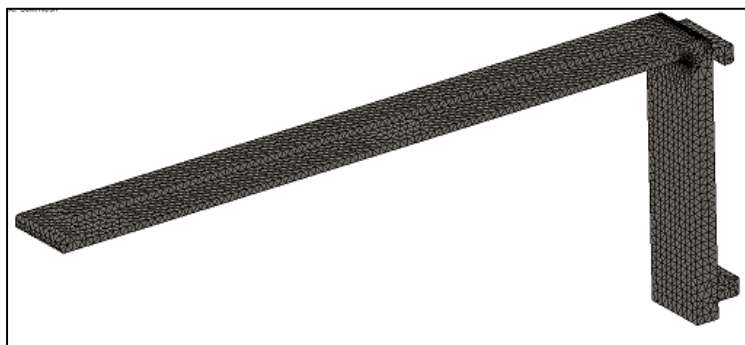
de cedência disponível na livreria de materiais do *software* de simulação: aliga de aço AISI 4340 com as características descritas no anexo 14.

Na figura 33 pode observar-se as características iniciais impostas a peça. Para efetuar a simulação, assumiu-se que a peça não possui liberdade de movimentos e está fixa nos pontos de ancoragem ao *staker*. Para além desta restrição a peça esta sujeita a duas cargas correspondentes aos locais de apoio das pinças de amarração, sendo que o espaçamento entre elas e dado pelo espaçamento necessário para carregar um cunho de formato 60x120. A fim de se obter uma simulação em condições para além do limite, carregou-se o equipamento com uma carga de 500kg (superior a qualquer cunho existente). Ora, dividindo este valor por quatro pontos de apoio chegou-se ao valor da força exercida em cada ponto assinalado.



**Figura 33 - Características iniciais impostas ao garfo.**

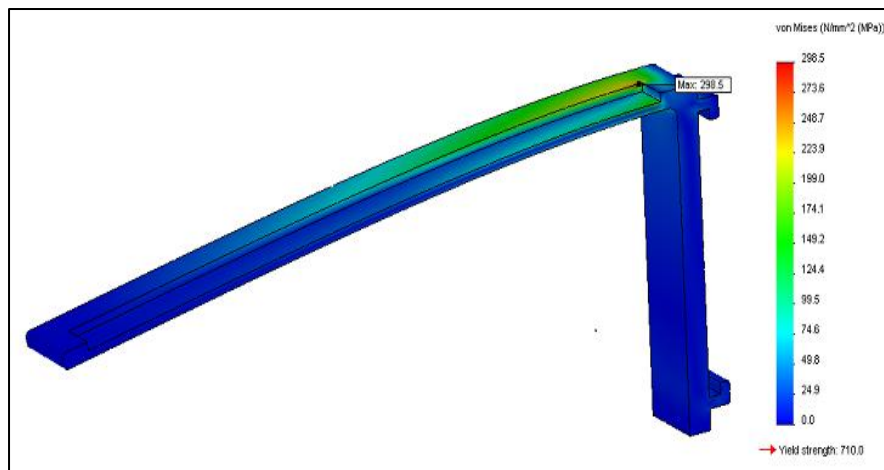
Depois de representadas as restrições e cargas, o programa procede a divisão da peça em elementos finitos os quais podem assumir geometrias como, tetraedros ou hexaedros. A representação da malha utilizada na análise de tensão e deformação do garfo pode ser observada na figura 34.



**Figura 34 - Malha utilizada na análise de tensão deformação do garfo.**

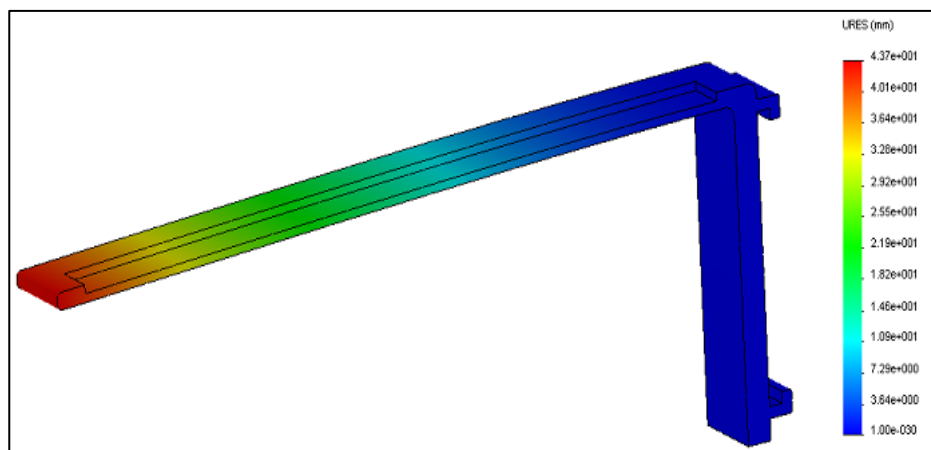
Da figura 35 conclui-se que a tensão de Von Mises atinge o valor máximo de 298.5 MPa. Comparando a tensão de Von Mises com a tensão limite de elasticidade do mo material aço AISI 4340 conclui-se que a peça esta sobredimensionada uma vez que 298.5 representa 42,04% do limite de tensão que o material suporta.





**Figura 35 - Distribuição da tensão de Von Mises pelo garfo.**

O deslocamento sofrido pela peça pode ser observado na figura 36 e apresenta como valor máximo 4,37 milímetros na extremidade do garfo como seria de esperar visto que a carga foi colocada na posição onde o seu peso produziria o maior deslocamento. De notar que a carga de teste é muito superior à carga máxima, sendo que este valor deve ser substancialmente menor numa situação real.



**Figura 36 - Distribuição do deslocamento sofrido pelo garfo.**

Para a simulação da pinça de amarração começou por definir-se o tipo de material a utilizar. Atendendo principalmente a geometria da peça recorreu-se a um outro tipo de aço que não o dos garfos, não só pela dificuldade de maquinação de um aço com tais valores de resistência mecânica mas também levando em conta o custo que este tipo de operação poderia acarretar. Optou-se então por um aço corrente cujas respetivas propriedades podem ser consultados no anexo 15.

Na figura 37, podem observar-se as características iniciais impostas a peça. Assim, assumiu-se que a peça não possui liberdade de movimentos e esta fixa nos pontos de contacto com os grafos do empilhador. Para além desta restrição a peça esta sujeita a uma carga localizada no ponto de apoio do cunho. A fim de obter uma simulação de uma situação limite carregamos o equipamento com uma carga igual a da simulação anterior, sendo que agora o valor da força exercida é metade do valor de carga.

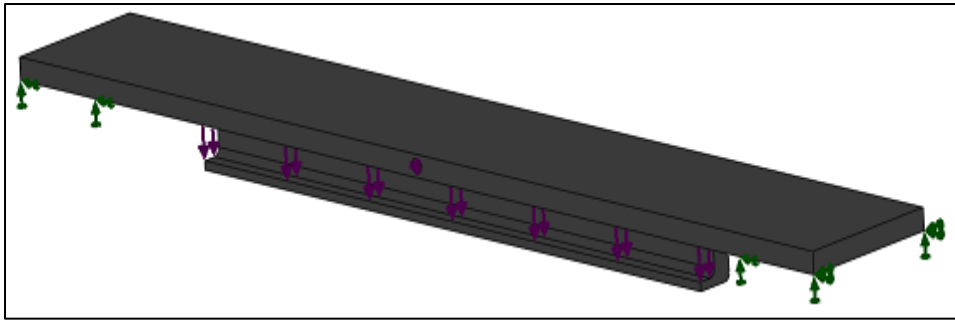


Figura 37 - Característica iniciais impostas a pinça de amarração.

Da figura 37 conclui-se que a tensão de Von Mises atinge o valor máximo de 46,7 MPa. Comparando a tensão de Von Mises com a tensão limite de elasticidade do mo material *Pain carbon steel* conclui-se que a peça esta sobredimensionada uma vez que 46,7 MPa representa 21,6% do limite de tensão que o material suporta.

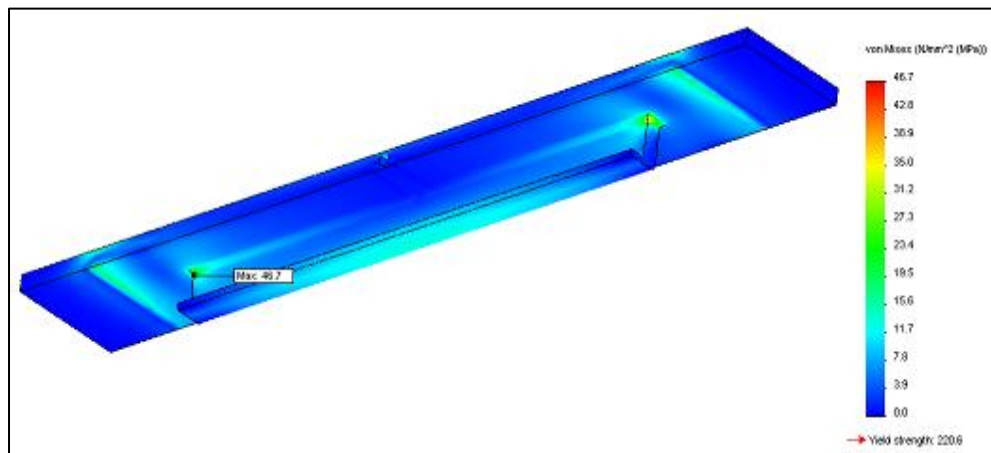


Figura 38 - Distribuição da tensão de Von Mises pela pinça de amarração.

O deslocamento sofrido pela peça pode ser observado na figura 39 e apresenta como valor máximo 0.0807 milímetros localizado na zona da peça que será atravessada pelo veio roscado. De notar que a carga de teste é muito superior a carga máxima, sendo que este valor deve ser substancialmente menor numa situação real.

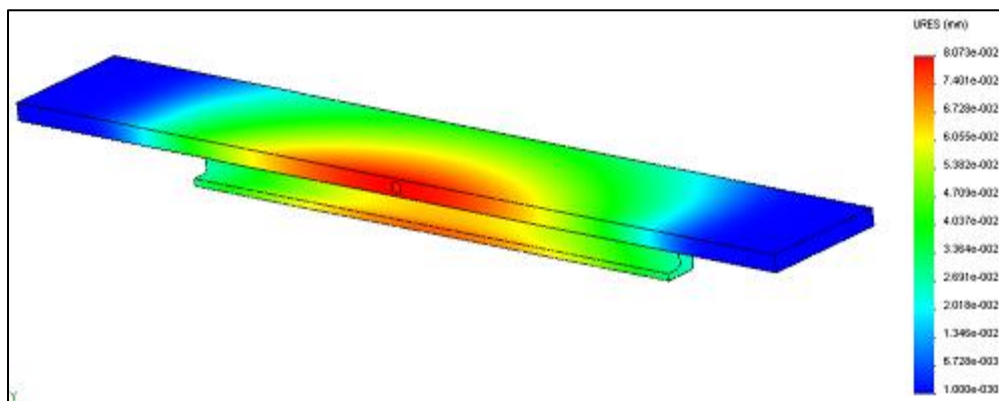


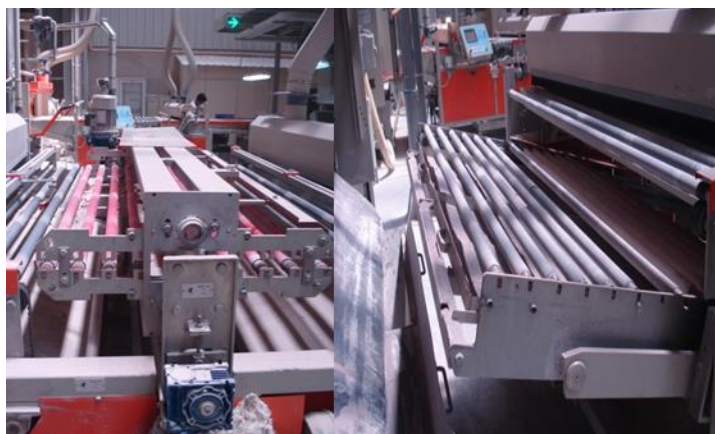
Figura 39 - Distribuição do deslocamento sofrido pela pinça de amarração.



Concluindo, com o projeto de equipamento apresentado será possível eliminar todo o manuseamento manual aquando da troca de cunhos, sendo que ainda restariam alguns problemas a ser tratados, principalmente no que diz respeito ao espaço reduzido para a circulação do equipamento completo entre a prensa e a restante linha de produção.

Deste modo seria necessário realizar algumas alterações na linha de montagem para assim ganhar espaço de trabalho e margem de manobra com o equipamento projetado. Relativamente as alterações necessárias será proveitoso, retirar viradores a saída das prensas aumentando o comprimento da mesa retrátil para podermos ganhar espaço para que o equipamento projetado possa sair ou entrar com um cunho de formato superior a 60x60.

Os virados são partes da mesa de saída que devido a tecnologia das prensas não são necessários pois as peças saem da prensa já na sua posição correta. Após a sua remoção poderá deslocar-se todo o equipamento a saída da prensa na direção do secador. Este deslocamento vai ser compensado com o aumento da mesa retrátil. A mesa retrátil pode facilmente ser adaptada para assim poder aumentar o seu comprimento. Na figura 40 podem observar-se as partes do equipamento que teriam que sofrer alterações.



**Figura 40 - Virador e mesa retrátil.**

O conjunto das alterações necessárias na linha foi aprovado pelo mecânico, responsável pelo processo de prensagem, que não colocou entraves às alterações propostas.

## 5. Conclusão

Neste capítulo começa-se por fazer a análise e discussão dos resultados obtidos com a aplicação dos testes, tendo por referência os dois principais tipos de problemas. Apresentam-se de seguida algumas das fragilidades/dificuldades encontradas na realização do projeto e equacionam-se algumas linhas de ação que se devem ter em consideração em projetos que poderão vir a ser desenvolvidos no futuro. Conclui-se com uma visão crítica acerca da utilidade do estudo.

### 5.1 Análise e discussão dos resultados

#### 5.1.1 *Problemas de variabilidade dimensional*

Começando por analisar os dados que nos foram fornecidos pela empresa no início deste projeto, conclui-se que o problema dos calibres é um problema real e em relação ao qual é necessário atuar. O facto de serem poucas as ordens de fabrico onde se trabalha abaixo do limite desejável faz com que o problema de falta de espaço para *stock* não pare de crescer, assim como os custos logísticos e o volume de dados que os técnicos logísticos tem de trabalhar.

Em relação à variação de pressão de prensagem entre prensadas consecutivas, conclui-se que a prensa se encontra em perfeito estado de funcionamento pois apresenta valores que nos fazem acreditar que o processo está sob controlo. De notar que para este fator não ter influência no número de calibres é necessário que a cada ordem de fabrico sejam produzidas peças ensaio para nos poder dar uma ideia de onde se encontra o ponto médio dos calibres produzidos, sendo posteriormente reajustado o *setup* da prensa. Seria proveitoso estudar um pouco mais esta variável, no sentido de obter uma amostra maior e em todas as prensas para se poder perceber melhor quais são os desvios que apresentam umas em relação as outras.

No que diz respeito à variação da pressão entre os alvéolos do molde, constatou-se que os alvéolos que se encontram no centro são os mais carregados por parte da prensa. As diferenças de pressão encontradas entre o máximo e o mínimo não parecem ser justificativas para existirem peças com diferenças de calibre tão grandes. De notar que o fator dimensão de ferramentas pode ter tido neste teste um papel importante fazendo com que não se tenha conseguido encontrar os valores reais para as variações de pressão. Mesmo mantendo sempre os mesmos conjuntos a prensar, por estarem num arranjo diferente podem ter influência nos resultados obtidos. Assim, este teste serviu para se retirar algumas conclusões básicas que abriram pistas sobre novas soluções para este problema.

Passa-se então a analisar os resultados obtidos para a variação do calibre em função das alturas dos cunhos face e tardo. Dos testes 4 e 5 percebe-se que em moldes dotados de placas de monocalibre o peso da variação das alturas dos cunhos não é tao grande como quando são usados moldes dotados dessa tecnologia, pelo que se deve dar especial importância às alturas dos cunhos face quando se trabalha com moldes sem placa de monocalibre. Do teste 6 as conclusões a retirar são limitadas pois analisando os resultados obtidos pensa-se que existiu algum fator que escapou ao controlo, visto que o número de peças perdidas durante o processo foi exageradamente grande. Ambos os testes pecam por

ter uma amostra reduzida tanto em número de peças como em número de ensaios, o que faz com que os resultados obtidos tenham um grande grau de incerteza.

Do conjunto de soluções apresentadas para o problema da variabilidade dimensional das peças, pode concluir-se que com um esforço adicional por parte dos operados e um pouco mais de boas práticas de gestão de ferramentas podem-se alcançar bons resultados. Para o efeito será necessário eliminar outros problemas, nomeadamente o método de armazenamento de cunhos, que atualmente não permite a organização de um bom método de trabalho. As soluções apresentadas foram implementadas na empresa e foram comprovados os seus resultados. Porém, vieram a ser abandonadas devido à falta de empenho e interesse por parte de responsáveis técnicos e operados.

### ***5.1.2 Problemas com ferramentas utilizadas***

Passando agora a analisar os resultados obtidos para o problema de ferramentas utilizadas, pode concluir-se que o teste do ciclo de vida das ferramentas foi um teste inconclusivo, pois, o número de prensadas de onde foi possível retirar conclusões é bastante reduzido. A última medição foi realizada com cerca de oitenta mil prensadas, este valor não corresponde a dois intervalos do valor da periodicidade de medição. Para se ter uma noção de como seria a função de desgaste dos cunhos seria necessário acompanhar os cunhos até se verificarem defeitos produzidos por elevado desgaste do bordo ou elevada variação das cotas *i* e *h*. Também para se obterem valores fiáveis, seria necessário acompanhar um maior número de cunhos e durante um maior número de prensadas. Ainda assim parece legítimo poder concluir que os cunhos sofrem desgaste em todas as cotas sendo que a função que rege este desgaste não deve ser uma função linear mas sim uma que acelere o desgaste da peça em relação ao tempo. Sustenta-se esta ideia no facto de que à medida que há mais desgaste há mais facilidade das partículas de pó atomizado se alocarem entre os cunhos e o molde.

Relativamente ao teste de danos dos cunhos pode concluir-se que as principais causas de reparação de cunhos face são borracha danificada e cantos partidos. Depois de avaliados todos os processos referentes ao manuseamento destas ferramentas pode afirmar-se que na maioria das vezes estes problemas advêm de manuseamento e armazenamento inapropriado. As principais causas de reparação de cunhos tardoz são cunho roto, cunho com papo e cunho com fuga. Relativamente a estes problemas não foi encontrada qualquer solução, sendo que tal como para os cunhos face a aplicação de novos métodos poderá trazer redução de cunhos danificados em acidente. O teste poderia ser um pouco mais robusto, pois, a amostra não é tão grande quanto o desejado, muito por falta de cuidado por parte dos operadores quando na hora do registo. Ainda assim pode especular-se que as principais causas de reparação se manteriam as mesmas pelo *know how* de alguns operadores.

Relativamente à solução implementada de codificação de cunhos pode concluir-se pelo que já foi comprovado na prática que a nova codificação vem trazer inúmeras vantagens. Cada cunho que volta de um fornecedor já está dotado de número de código o que permite que, pelo menos, se comece de construir o trajeto de uma dada ferramenta. Sendo ainda um registo muito simples já está a trazer nova informação aos gestores de manutenção que agora podem saber quando foi reparado, quantas reparações teve e de que tipo foram as alterações. Com o novo *software* de gestão é possível combinar esta codificação com outros tipos de informações, o que vai possibilitar ter, em qualquer momento, um conhecimento exaustivo e

rigoroso em relação ao cunho, podendo-se dessa forma planejar intervenções e manter o parque de cunhos dentro de controlo e pronto a responder a qualquer alteração do plano de produção. Esta codificação e tipo de controlo poderá ser proveitoso não só nos cunhos como também nos moldes e todos os outros objetos rotáveis que intervêm no processo de prensagem. Em termos de ideal seria ter um sistema que permitisse a qualquer momento visualizar que rotáveis estariam a trabalhar em cada prensa.

Em relação à estante projetada conclui-se que o seu uso eliminaria muitos dos problemas que constituem entraves muito fortes à organização do armazém de cunhos e consequentemente não permitem que seja possível concretizar o objetivo de controlar o fluxo de ferramentas. O facto da estante projetada reduzir o espaço necessário para armazenamento torna possível a ideia de não só reduzir o armazém como também deslocá-lo para mais perto das prensas. Se o conjunto das estantes para todos os formatos poder ser substituído pelas bancadas de cunhos junto das prensas, então eliminar-se-ia uma grande distância que os cunhos necessitam de percorrer. Evitar-se-ia também o processo semanal de verificação de cunhos nas bancadas pois todos os cunhos estariam ao lado das prensas onde mais trabalham. O acesso fácil a todos os cunhos desbloquearia o caos que se regista hoje em dia no controlo das ferramentas. Através da estante seria ainda possível organizar os cunhos de maneira a ser possível a fácil implementação da proposta de melhoria de criação de conjuntos predefinidos de cunhos face. Deixar-se-ia de ter a atual reposição semanal de cunhos e passar-se-ia a identificar as prateleiras onde estariam os cunhos que trabalhariam nessa semana. Em suma, seria uma alteração que poderia não só promover uma boa prática de gestão de ativos como também reduzir custos.

No que diz respeito a máquina de troca de cunhos nas prensas, constata-se que o seu estudo está ainda em fase embrionária. Até à possível construção do protótipo, seria ainda necessário:

- Projetar as alterações ao *staker* para posterior junção com conjunto porta cunhos;
- Projetar alterações da linha;
- Testar fiabilidade das alterações necessárias aos cunhos;
- Realizar avaliação de custos de construção.

Das simulações realizadas pode concluir-se que as peças desenhadas estão sobredimensionadas sendo que se poderia voltar à fase de desenho do equipamento com o objetivo de minimizar o espaço ocupado pelo conjunto porta cunhos. Todos os milímetros que se pudessem ganhar nesse espaço proporcionariam uma maior margem de manobra para colocar/retirar cunhos tardoz. O deslocamento sofrido pelos garfos é um dos valores onde é necessário prestar mais atenção pois se o deslocamento for demasiado grande poderá não conseguir-se posicionar o cunho dentro do alvéolo sem fazer com que existam embates dos bordos nas matrizes do molde. Poder-se-ia também redesenhar as pinças de amarração com o objetivo tornar a peça mais leve, com a mesma capacidade de carga, e que, por outro lado, fosse de processo de fabrico mais fácil. Analisando a pinça de amarração por uma vertente de produção desse componente verifica-se que seria necessário maquinar um bloco de grandes dimensões de aço corrente o que acarretaria um elevado custo. A maquinação dos garfos é o único processo para tratar as alterações necessárias a fazer a este elemento.

O projeto é bastante interessante e desafiante. Porém, é ainda necessário muito trabalho até se poder partir para a decisão de construir o protótipo e testá-lo no terreno.

## 5.2 Projetos futuros

Para efeito de trabalhos futuros dá-se especial destaque aos aspetos relacionados com a realização dos testes. Estes deverão ser repensados no sentido de aumentar o tamanho da amostra. A solução ideal seria aproveitar o processo de escolha para recolha de dados. Dessa forma seria possível não só estudar com mais certeza que peso teriam as alterações efetuadas nas prensas nas peças prensadas, mas também eliminar a necessidade de destruição de peças e paragens de produção para ensaio. Este seria um método de trabalho que colocaria outros problemas técnicos sendo que a sua resolução validaria a possibilidade de se alcançarem resultados muito mais fiáveis.

Em relação ao manuseamento de ferramentas, pensa-se que, apesar do projeto estar ainda em fase inicial, se se verificar que a implementação das medidas propostas traz uma poupança real para a empresa, será proveitoso estudar de forma mais aprofundada esta questão. Nesse sentido seria interessante e pertinente começar a equacionar a possibilidade de tornar automáticos todos os processos que dizem respeito aos cunhos.

## 5.3 Conclusão geral

Numa análise global do trabalho realizado, parece legítimo afirmar que os objetivos pretendidos com este trabalho não foram alcançadas na sua plenitude. Na verdade, devido à incerteza dos resultados obtidos nos testes, os resultados acabam por ser um pouco inconclusivos em relação ao verdadeiro peso dos fatores na variabilidade dimensional das peças produzidas. Todavia, em relação aos problemas das ferramentas utilizadas, os objetivos foram cumpridos e as soluções apresentadas tem potencial para serem tidas em conta na hora de reduzir custos e melhorar o método de trabalho da empresa.

Apesar de não terem sido alcançados todos os objetivos delineados, a realização do projeto não deixar de ser olhada de forma positiva pelos contributos quer para futuros estudos na área, quer para a introdução de ações de melhoria a nível da empresa. Com efeito, este trabalho pode incluir-se numa fase exploratória da pesquisa, à qual se poderão, naturalmente, seguir outros estudos já de outra natureza. Os impactos a nível da empresa, poderão situar-se a nível do reforço da consciencialização da existência de problemas que, embora não fossem propriamente novidade, não tinham merecido atenção suficiente em termos da sua resolução, e ainda a nível da construção de algumas soluções que quando implementadas poderão ser bastante proveitosas, muito embora a avaliação do seu real impacto exigirá um período alargado de tempo.

## Bibliografia

**Amorós, J.L. 1987.** *Pastas cerámicas para pavimentos de monococción. Influencia de las variables de presado sobre las propiedades de las piezas en crudo y sobre su comportamiento durante el prensado y la cocción.* Universitat de Valencia . Tesis doctoral .

**Cabral, José Paulo Saraiva. 2004.** *Organização e Gestão da Manutenção- Dos conceitos a Prática- 4ª Edição.* Lisboa : Lidel.

**Kardec, Alan e Pinto , Xavier . 2001.** *Manutenção - Função Estratégica (2ª edição).* Rio de Janeiro : Qualitymarck Ed.

**Llopis, Matias Gras. 2010.** *Tese doutural - Estimacion Estadística Modelado y Analisis de la Transmision y coste de la variabilidad en processo Multietapa. Aplicação en la fabricacion de Balbosas Ceramicas .* Universitat Jaume1 : s.n.

**Monchy. 1989.** *A função Manutenção: formação para a Gerencia da Manutenção Industrial.* São Paulo : Durban/Ebras.

**Nepomuceno, Lauro. 1989.** *Técnicas de Manutenção Preditiva .* São Paulo : Editora Edgar Blucher.

**Poyatos, et al. 2010.** *Boletim de la Sociedad de Cerámica e Vidro-Nuevo sistema y metodología para la eliminación de los calibres.* Castellón : Instituto de Tecnología Cerámica UJ.

**Sacmi. 2008.** *Catalogo Geral Equipamentos .* Italia : Disponível em: [www.sacmi.com](http://www.sacmi.com) - Consultado a 15 de Fevereiro de 2013.

**Sacmi. 1986.** *Dalla Tecnologia Alle Macchine Ai Forni per la Piastrella Sacmi- Note tecnologiche sulla fabbricazione delle piastrelle ceramiche.* s.l. : Edizione 1986 volume non commerciale.

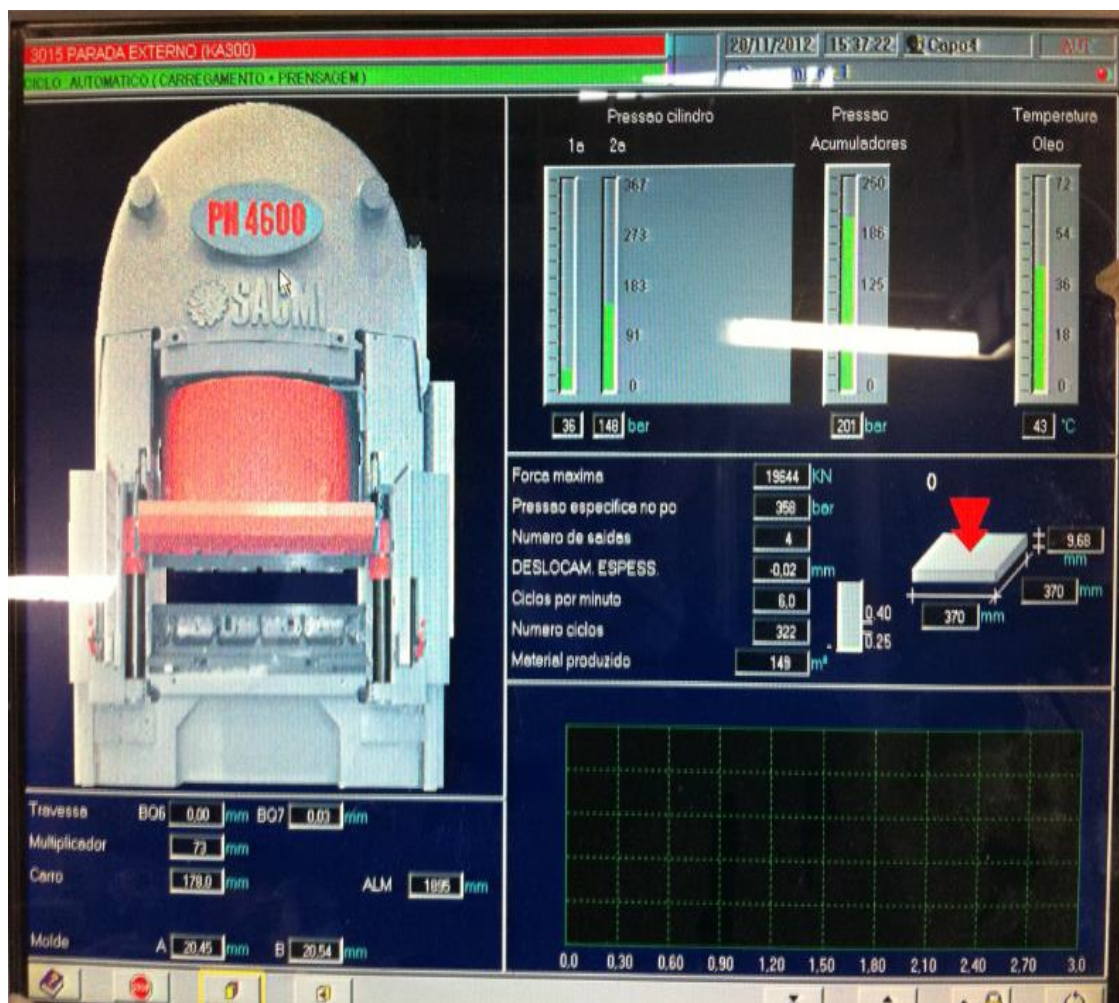
**Standard, International. 1998.** *ISO 13006 -Ceramic tiles — Definitions, classification, characteristics and marking.*

**Xenos, Harilaus. 1998.** *Gerenciamento a Manutenção Produtiva .* Belo Horizonte : Editora de desenvolvimento Gerencia.

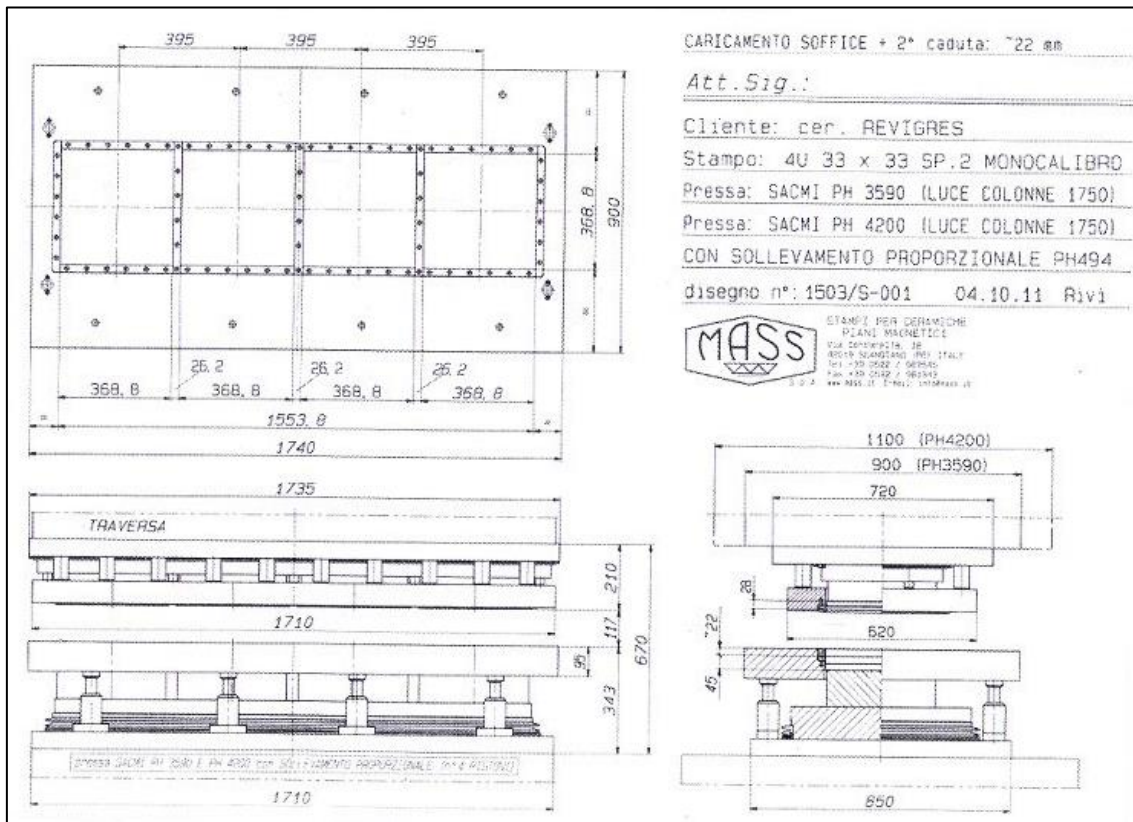
[www.revigres.pt](http://www.revigres.pt) , consultado em 12-01-2013.

<http://www.umw.com.my/Download%20Documents/Brochure/BT/PowerStacker/SHM080.pdf>

## Anexo 1- Setup da prensa Ph4600 para produção de formato 33x33



## Anexo 2- Desenho técnico de molde formato 33x33





### Anexo 3 - Folha de registo de calibres dos ensaios

[illegible]

Anexo 4- Especificação de recepção de cunhos e matrizes

revigres

Anexo  
Especificações de Recepção de Cunhos e Matrizes

IE, MN/I

1/2

Revisão 18

2012-03-26

Unidade	Designação	Cunho Face (I)		Matriz (Alvéolo)	Cunho Tardoz (S)	
		A x B <sup>+0,03</sup> -0,03	H <sup>+0,03</sup> -0,03		A x B <sup>+0,03</sup> -0,03	H <sup>+0,03</sup> -0,03
I	10 x 20 P	105,63 x 214,53	26,00	105,70 x 214,60	106,70 x 215,60	48,00
I	20 x 20 P	215,13 x 215,13	43,00	215,20 x 215,20	216,15 x 216,15	43,00
I	20 x 20 MP	198,90 x 198,90	27,00	199,00 x 199,00	199,50 x 199,50	27,00
I	33 x 33 P	367,13 x 367,13	28,00	367,20 x 367,20	367,90 x 367,90	48,00
I	33 x 50 P	547,60 x 367,13	28,00	547,70 x 367,20	548,35 x 367,90	48,00
I	40 x 40 P	428,70 x 428,70	28,00	428,85 x 428,85	429,50 x 429,50	48,00
I	20 x 40 MP	199,35 x 399,75	28,00	199,45 x 399,85	200,10 x 400,40	48,00
I	30 x 30 P	321,30 x 321,30	27,00	321,40 x 321,40	322,25 x 322,25	48,00
I	30 x 45 MP	299,05 x 449,05	27,00	299,20 x 449,20	299,70 x 449,70	48,00
I	30 x 60 P	648,65 x 325,95	35,00	648,70 x 326,00	649,50 x 326,85	48,00
I	30 x 60 MP	598,60 x 300,77	35,00	598,65 x 300,80	599,60 x 301,68	48,00
I	30 x 90 MP	903,40 x 310,60	32,00	903,50 x 310,70	904,50 x 311,70	48,00

MP – Monoporosa    P – Porcelanato    I – Interior    S – Superior    1 – Comados    2 – Plastificados

Reprodução Proibida

Modelo: 2.2-2/3 A

## Anexo 5 - Proposta de codificação de cunhos

Proposta de composição do código dos cunhos das 2 unidades:

Unidade	Formato		Lado	Tipo	Relevo	Número	-	Espessura
1	Formato	Código	F Face	C Cromado	X X X	N N		Nominal
2	20x20	22M	T Tardoz	L Liso				A - 0,1mm
	20x40	24M		E Estruturado				B - 0,2mm
	20x60	26M		N Normal				C - 0,3mm
	30x45	34M		I Isostático				D - 0,4mm
	30x60	36M		A AntiTransparente				
	30x90	39M						
	30x30	30P						
	30X30 ICE	30I						
	33X33	33P						
	33X50	35P						
	30X60	36P						
	30X60 ICE	36I						
	45X45	44P						
	45X45 ICE	44I						
	45X90	49P						
	60X60	66P						
	60X60 ICE	66I						
	60X120	61P						
	90X90	99P						

0,2 incremental único

Código de cada relevo

Exemplos

001 - Liso  
...  
078 - Umbria  
...  
239 - Quadriculado

Sempre que existirem alterações atualizam-se estas tabelas.

### Exemplos de codificações:

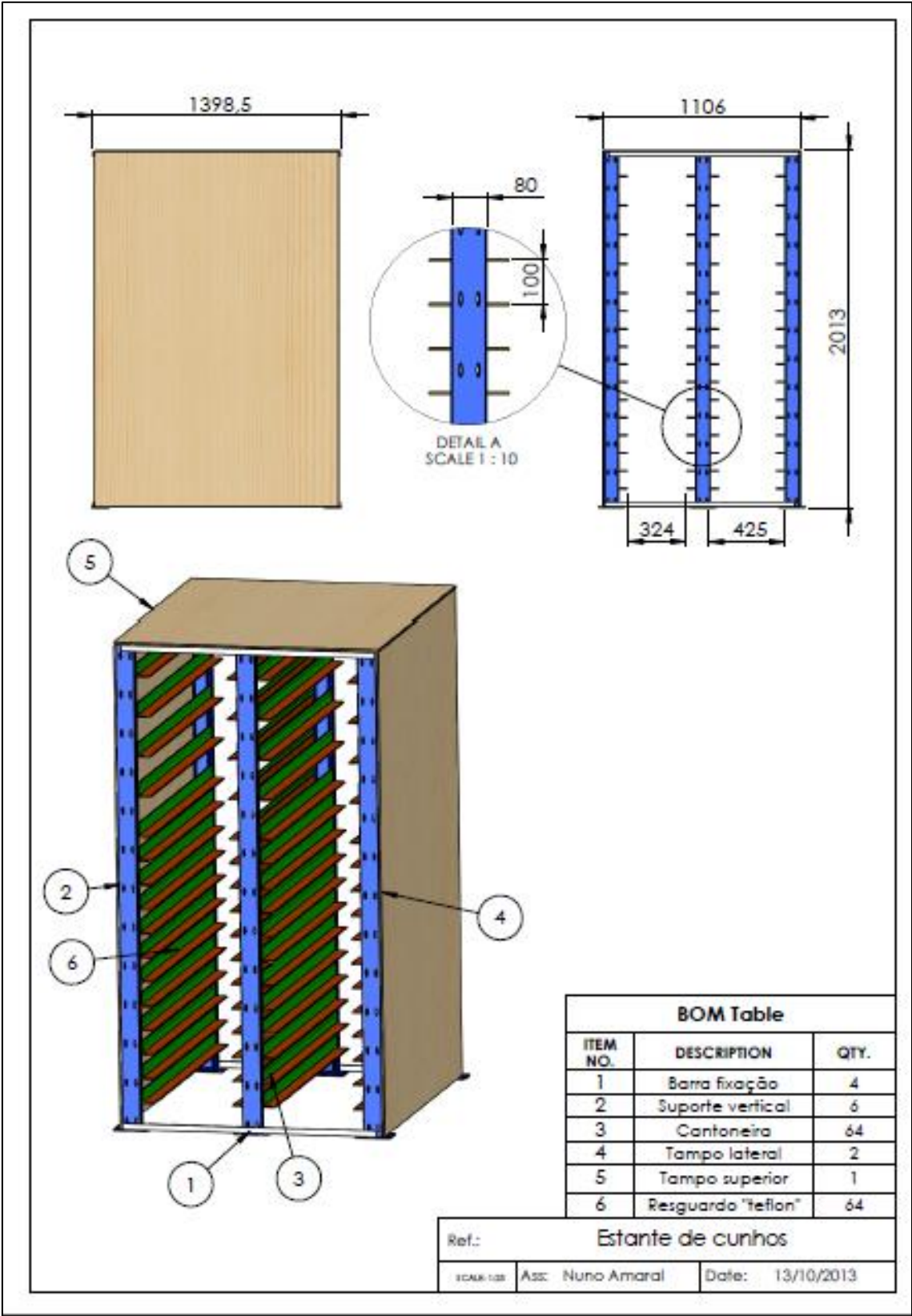
Cunho Face 20x60 MP Relevo Liso, nº 27, com espessura à cota nominal	126MFL 001 27
Cunho Face 30x30 P Relevo Liso, nº 43, com espessura 0,2mm inferior à nominal	230PFL 001 43 – B
Cunho Tardoz 90x90 P Normal, nº 2	299PTN 239 02
Cunho Tardoz 20x40 MP Isoestático, n.º 7	124MTI 239 07

## Anexo 6 - Proposta de codificação de relevos

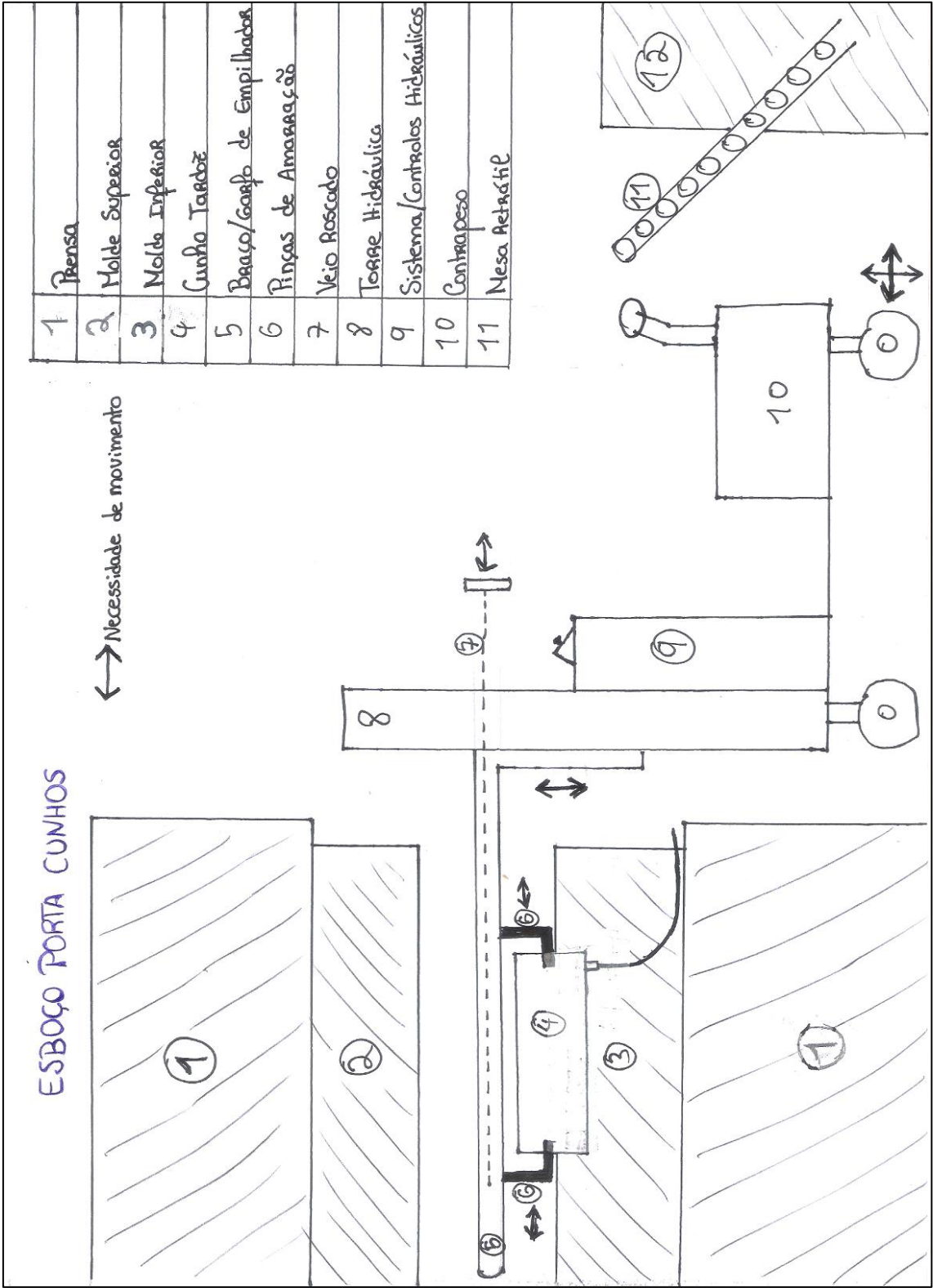
Tabela de Relevos / Códigos

Relevo	LM.C.L.	Molde	Código	Relevo	LM.C.L.	Molde	Código	Relevo	LM.C.L.	Molde	Código	Relevo	LM.C.L.	Molde	Código
20x 60cm	0670			Catalão	1	1721	031	Máscara			084	Arco	3022		137
30x 30cm	0679			Catalão	2		032	Metalizado			085	Arco			138
30x 30cm-4x	0681			Catalão	3	1723	033	Moldura	Ruínas		086	Tijolo	Forma		139
30x 45cm	1168			Catalão	4		034	Moldura	Ruínas		087	Tijolo	Forma		140
30x 60cm-40	0806			Chado	2		035	Moldura	Ruínas		088	Tijolo	Forma		141
30x 60cm (Bastão)	1041			Chado	3		036	Moldura	Ruínas		089	Tijolo	Forma		142
30x 60cm-40	1414			Chado	4		037	Moldura	Ruínas		090	Tijolo	Forma		143
30x 30cm	2030			Chado	5	1095	038	Moldura	Ruínas		091	Tijolo	Forma		144
45x 45cm-40	1016			Chado	6		039	Moldura	Ruínas		092	Tijolo	Forma		145
45x 45cm-40	1718			Chado	7		040	Moldura	Ruínas		093	Tijolo	Forma		146
60x 60cm-40	1084			Chado	8		041	Moldura	Ruínas		094	Tijolo	Forma		147
60x 60cm-Fundo	0921			Chado	9		042	Moldura	Ruínas		095	Tijolo	Forma		148
				Chado	10		043	Moldura	Ruínas		096	Tijolo	Forma		149
				Chado	11		044	Moldura	Ruínas		097	Tijolo	Forma		150
				Chado	12		045	Moldura	Ruínas		098	Tijolo	Forma		151
				Chado	13		046	Moldura	Ruínas		099	Tijolo	Forma		152
				Chado	14		047	Moldura	Ruínas		100	Tijolo	Forma		153
				Chado	15		048	Moldura	Ruínas		101	Tijolo	Forma		154
				Chado	16		049	Moldura	Ruínas		102	Tijolo	Forma		155
				Chado	17		050	Moldura	Ruínas		103	Tijolo	Forma		156
				Chado	18		051	Moldura	Ruínas		104	Tijolo	Forma		157
				Chado	19		052	Moldura	Ruínas		105	Tijolo	Forma		158
				Chado	20		053	Moldura	Ruínas		106	Tijolo	Forma		159
				Chado	21		054	Moldura	Ruínas		107	Tijolo	Forma		160
				Chado	22		055	Moldura	Ruínas		108	Tijolo	Forma		161
				Chado	23		056	Moldura	Ruínas		109	Tijolo	Forma		162
				Chado	24		057	Moldura	Ruínas		110	Tijolo	Forma		163
				Chado	25		058	Moldura	Ruínas		111	Tijolo	Forma		164
				Chado	26		059	Moldura	Ruínas		112	Tijolo	Forma		165
				Chado	27		060	Moldura	Ruínas		113	Tijolo	Forma		166
				Chado	28		061	Moldura	Ruínas		114	Tijolo	Forma		167
				Chado	29		062	Moldura	Ruínas		115	Tijolo	Forma		168
				Chado	30		063	Moldura	Ruínas		116	Tijolo	Forma		169
				Chado	31		064	Moldura	Ruínas		117	Tijolo	Forma		170
				Chado	32		065	Moldura	Ruínas		118	Tijolo	Forma		171
				Chado	33		066	Moldura	Ruínas		119	Tijolo	Forma		172
				Chado	34		067	Moldura	Ruínas		120	Tijolo	Forma		173
				Chado	35		068	Moldura	Ruínas		121	Tijolo	Forma		174
				Chado	36		069	Moldura	Ruínas		122	Tijolo	Forma		175
				Chado	37		070	Moldura	Ruínas		123	Tijolo	Forma		176
				Chado	38		071	Moldura	Ruínas		124	Tijolo	Forma		177
				Chado	39		072	Moldura	Ruínas		125	Tijolo	Forma		178
				Chado	40		073	Moldura	Ruínas		126	Tijolo	Forma		179
				Chado	41		074	Moldura	Ruínas		127	Tijolo	Forma		180
				Chado	42		075	Moldura	Ruínas		128	Tijolo	Forma		181
				Chado	43		076	Moldura	Ruínas		129	Tijolo	Forma		182
				Chado	44		077	Moldura	Ruínas		130	Tijolo	Forma		183
				Chado	45		078	Moldura	Ruínas		131	Tijolo	Forma		184
				Chado	46		079	Moldura	Ruínas		132	Tijolo	Forma		185
				Chado	47		080	Moldura	Ruínas		133	Tijolo	Forma		186
				Chado	48		081	Moldura	Ruínas		134	Tijolo	Forma		187
				Chado	49		082	Moldura	Ruínas		135	Tijolo	Forma		188
				Chado	50		083	Moldura	Ruínas		136	Tijolo	Forma		189

Anexo 7 - Especificações técnicas da estante para cunhos



Anexo 8 - Esboço da ideia inicial do equipamento troca cunhos



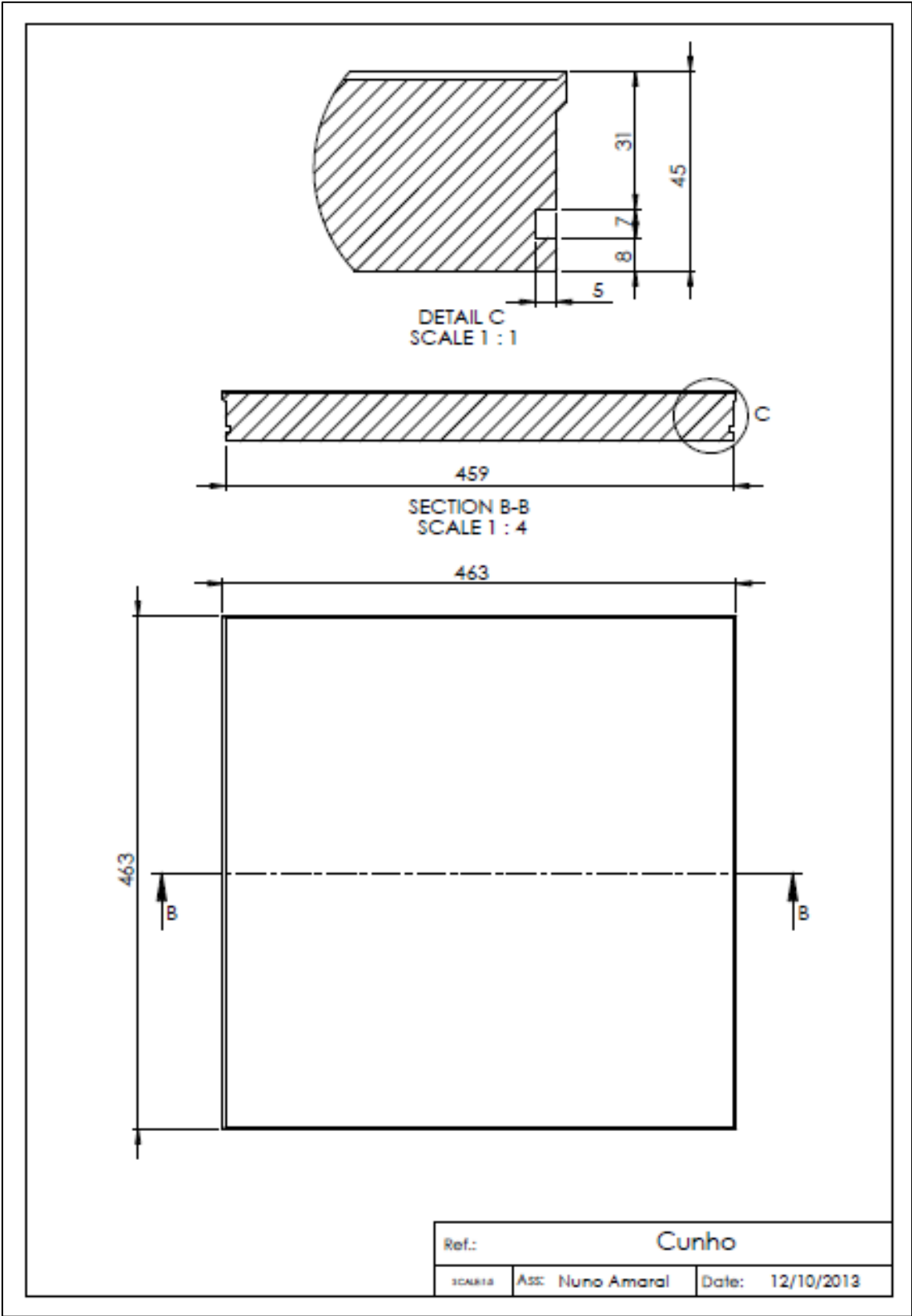
## Anexo 9 - Especificações técnicas de *staker* a adquirir

		Ministacker
Technical Details		SHL080
Power unit		Battery
Rated capacity	kg	800
Weight without battery	kg	295
Support arm wheels, nylon	mm	Ø 75x75
Steering wheels, nylon	mm	Ø 200x50
Lift motor	kW	0.8
Battery, min.	V/Ah	12/110
Dimensions, mm		SHL080
x	Front axle to fork face	740
y	Wheel base	1165
$h_{14}$	Height of handle in neutral pos.	1355
$h_{13}$	Height of lowered fork	86
$l_2$	Truck length incl. back of fork	525
$b_1$	Chassis, width	770
s	Fork thickness	55
e	Fork width	160
l	Fork length	1150
$b_5$	Width across fork	540
$m_2$	Floor clearance mid wheelbase	25
$A_{st}$	Aisle width, min (Pallet 800x1200 mm)	1930
$W_s$	Turning radius	1210
Mast, mm		SHL080
$h_3$	Lift height	1600
$h_1$	Mast height, min.	1990
$h_2$	Free lift	1600
$h_4$	Mast height, max.	1990

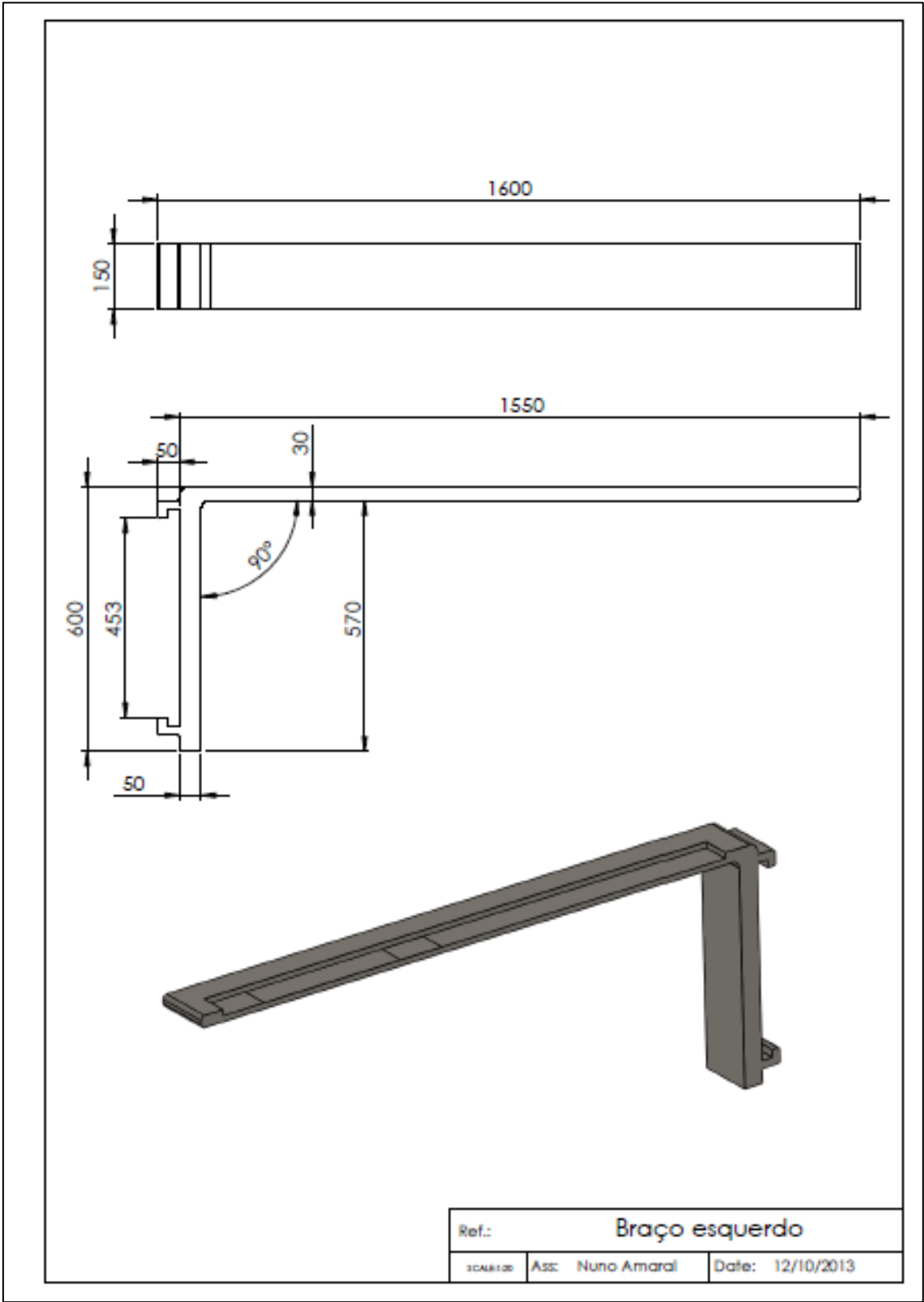
The technical drawing illustrates the SHL080 Ministacker. The side view shows the mast with dimensions  $h_1/h_4$  (total mast height),  $h_{14}$  (handle height),  $h_{13}$  (fork height),  $l_2$  (truck length),  $b_1$  (chassis width),  $s$  (fork thickness),  $e$  (fork width),  $l$  (fork length),  $x$  (front axle to fork face),  $y$  (wheel base),  $m_2$  (floor clearance), and  $h_3$  (lift height). The top view shows the chassis width  $b_1$ , the fork width  $e$ , and the fork length  $l$ .

Anexo 10 – Especificações técnicas das alterações a realizar nos cunhos

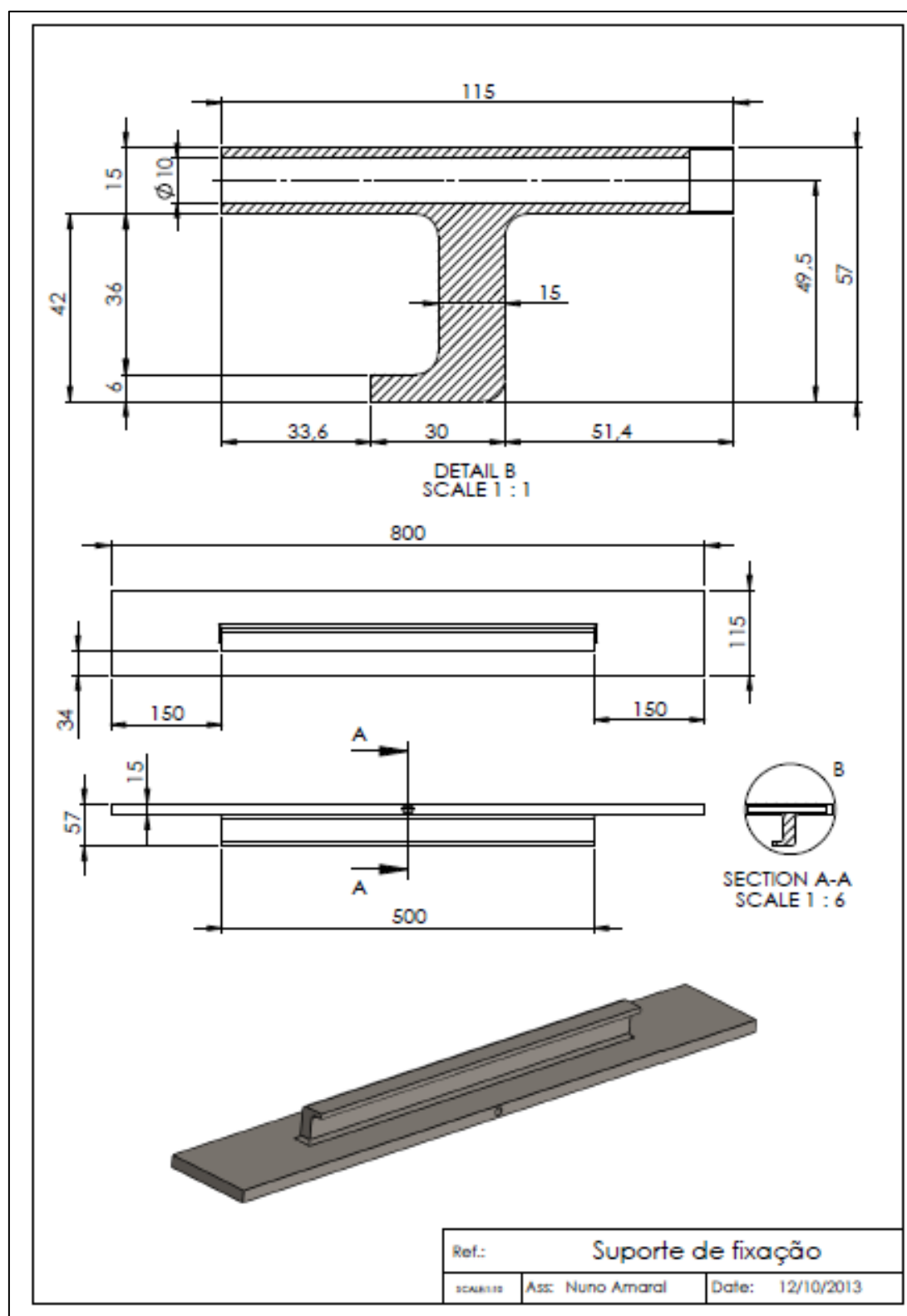




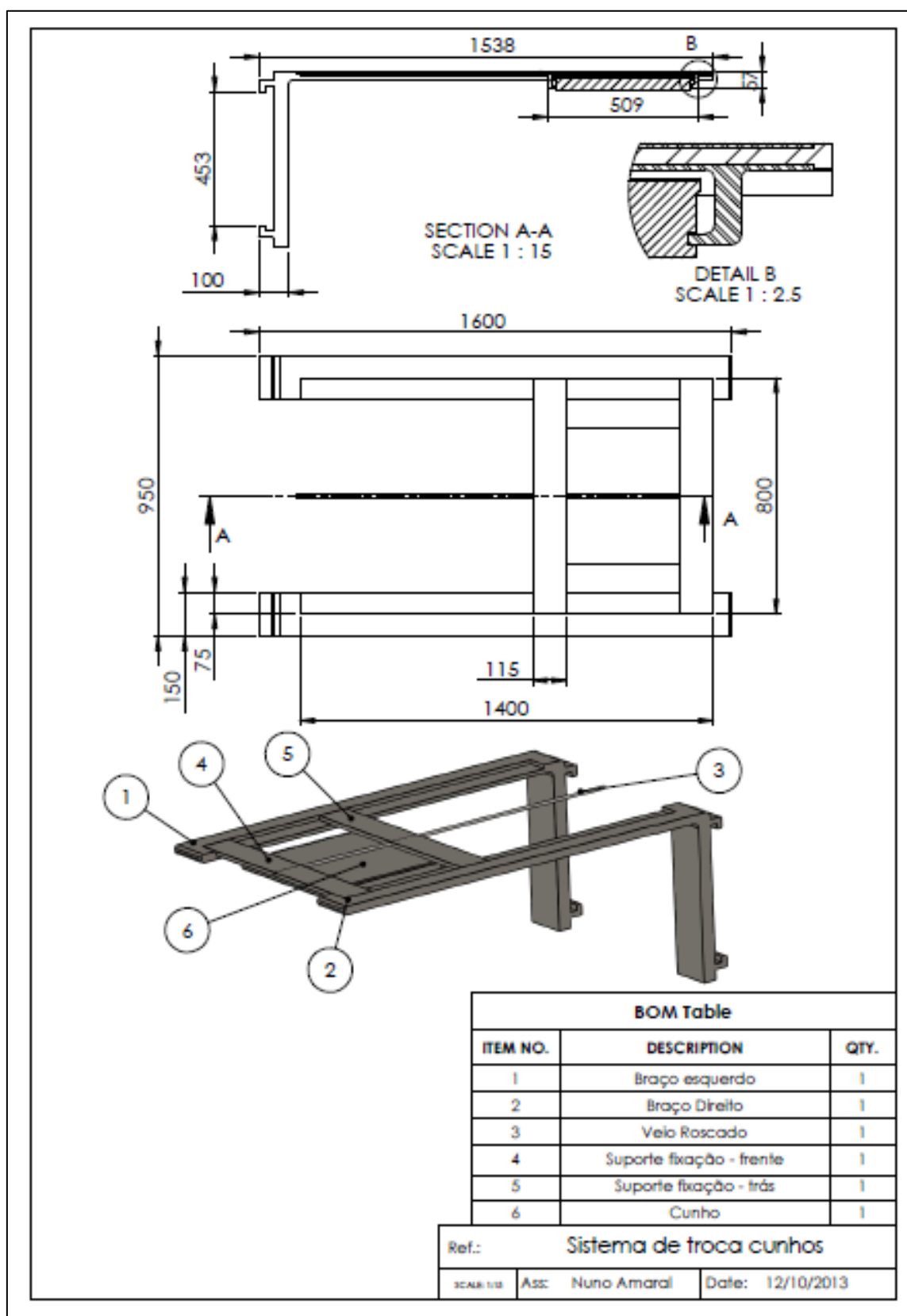
**Anexo 11 - Especificações técnicas das alterações a realizar no garfo de empilhador**



## Anexo 12 - Especificações técnicas das pinças de amarração



## Anexo 13- Especificações do conjunto porta cunhos



## Anexo 14 - Especificações do aço AISI 4340

Model Type:

Units:

Category:

Name:

Default failure criterion:

Description:

Source:

Property	Value	Units
Elastic Modulus in X	205000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio in XY	0.32	N/A
Shear Modulus in XY	80000	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	7850	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength in X	1110	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength in X		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	710	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient in X	1.23e-005	/K
Thermal Conductivity in X	44.5	W/(m·K)
Specific Heat	475	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

## Anexo 15 - Especificações do material *Plain Carbon Steel*

AISI 321 Annealed Stainless Steel (SS)

AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)

AISI 4130 Steel, annealed at 865C

AISI 4130 Steel, normalized at 870C

AISI 4340 Steel, annealed

AISI 4340 Steel, normalized

AISI Type 316L stainless steel

AISI Type A2 Tool Steel

Alloy Steel

Alloy Steel (SS)

ASTM A36 Steel

Cast Alloy Steel

Cast Carbon Steel

Cast Carbon Steel (SN)

Cast Stainless Steel

Chrome Stainless Steel

Galvanized Steel

**Plain Carbon Steel**

Stainless Steel (ferritic)

Wrought Stainless Steel

Iron

Aluminium Alloys

Copper Alloys

Model Type: Linear Elastic Isotropic

Units: SI - N/mm<sup>2</sup> (MPa)

Category: Steel

Name: Plain Carbon Steel

Default failure criterion: Max von Mises Stress

Description:

Source:

Property	Value	Units
Elastic Modulus	210000	N/mm <sup>2</sup>
Poissons Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	79000	N/mm <sup>2</sup>
Density	7800	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	399.83	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength in X		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	220.59	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	1.3e-005	/K
Thermal Conductivity	43	W/(m·K)
Specific Heat	440	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A